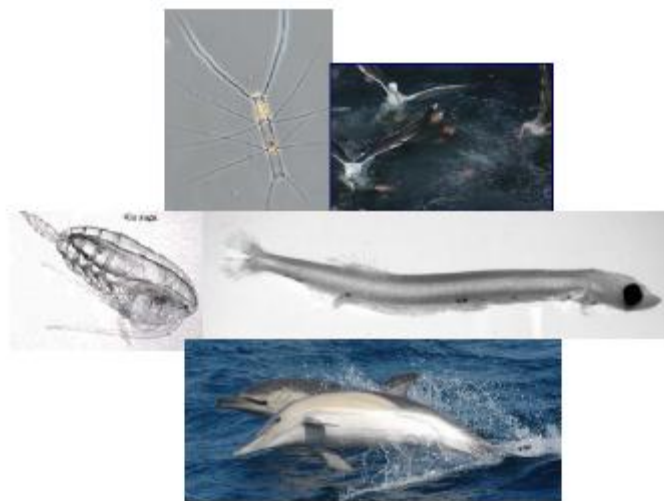


EcoAnchoa-Asturias 2011

Actividades realizadas por el Instituto Español de Oceanografía e informe de resultados



EcoAnchoa-Asturias

Dinámica de las poblaciones de anchoa y otros pequeños pelágicos en el Golfo de Vizcaya:
Relevancia de los procesos oceanográficos y del componente planctónico



19/12/2011

Tipo de documento

Informe Científico

Título del documento

EcoAnchoa-Asturias 2011: Actividades realizadas por el Instituto Español de Oceanografía e informe de resultados

Fecha

19/12/2011

Responsables de proyecto

Enrique Nogueira y Rafael González-Quirós (Investigadores Titulares del Centro Oceanográfico de Gijón)

Autores del Informe

Enrique Nogueira¹, Rafael González-Quirós¹, César González-Pola¹, Ignacio Reguera¹, M. Begoña Santos², Magdalena Iglesias³, Joan Miquel³, Dolores Oñate³, Begoña Villamor⁴ and Isabel Riveiro²

1 Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Gijón. Avda. Príncipe de Asturias 70-bis, 33212-Gijón, Spain

2 Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Vigo. PO Box 1552, Vigo, Spain.

3 Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Baleares. PO Box 291, Palma de Mallorca, Spain.

4 Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Santander. Promontorio San Martín, s/n. PO Box 240, 39080 Santander, Spain.

Informe remitido a:

Dirección General de Pesca, Consejería de Medio Rural y Pesca del Principado de Asturias
Atn: Juan Naves y Lucía García Florez

Financiación

Consejería de Medio Rural y Pesca del Principado de Asturias

Proyectos relacionados

ECOPEL –Estudio del ecosistema pelágico: distribución de especies y sus relaciones con el medio ambiente (Proyecto estructural del IEO)

Índice

Actividades de EcoAnchoa-Asturias 2011 realizadas durante la campaña PELACUS0411

Resultados de las campañas EcoAnchoa-Asturias 2010: Variabilidad de las condiciones oceanográficas, caracterización biogeoquímica y distribuciones de ictioplancton en los estuarios y plataforma adyacente del Nalón y Villaviciosa

Sumario ejecutivo

Las actividades realizadas por el Centro Oceanográfico de Gijón (Instituto Español de Oceanografía, IEO) en el marco del proyecto EcoAnchoa-Asturias (EcoAnchoa-AS) tienen como objetivo general caracterizar la variabilidad del ambiente físico-químico y de los componentes planctónicos del ecosistema pelágico durante el periodo de puesta (entre Abril y Octubre) de las principales especies de pequeños peces pelágicos en el Cantábrico oriental (entre Cabo Peñas y el cañón de Cape Breton), y determinar su influencia en la dinámica de dichas poblaciones. Las actividades llevadas a cabo durante el 2011 consistieron en:

1. Realización de muestreos específicos relacionados con el proyecto EcoAnchoa-Asturias durante la campaña PELACUS0411, cuyo objetivo prioritario es la estimación de la biomasa de pequeños peces pelágicos en la plataforma continental Nord Ibérica.
2. Completar el análisis de datos y muestras adquiridas durante las campañas EcoAnchoa-Asturias realizadas en 2010 (EcoAnchoa0510, EcoAnchoa0710 y EcoAnchoa0910 realizadas, respectivamente, en Mayo, Julio y Septiembre de 2010 en los estuarios y plataforma continental adyacente del Nalón y Villaviciosa).

Los objetivos y tareas planteados para el año 2011 se llevaron a cabo de forma satisfactoria. El presente informe se estructura de acuerdo a las actividades realizadas: 1) Descripción de las condiciones oceanográficas y presentación de los resultados de la estimación de biomasa de sardina y anchoa en la plataforma continental Nord Ibérica. 2) Descripción de la variabilidad en las condiciones físicas, biogeoquímicas y distribuciones de plancton a partir de los resultados obtenidos en las campañas EcoAnchoa-Asturias ejecutadas en mayo, Julio y Septiembre de 2010 en los estuarios y plataforma adyacente del Nalón y Villaviciosa.

Campaña PELACUS0411: condiciones oceanográficas, distribuciones de plancton y biomasa de sardina y anchoa en la plataforma continental Nord Ibérica en primavera de 2011

Autores

El presente informe ha sido elaborado a partir de los siguientes documentos:

- M. Begoña Santos¹, Magdalena Iglesias², Joan Miquel², Dolores Oñate², Begoña Villamor³ and Isabel Riveiro¹. 2011. Sardine and anchovy in Galicia and Cantabrian Waters: results from the spanish spring acoustic survey PELACUS0411. Documento de trabajo elaborado para el grupo de trabajo de ICES de anchoa y sardina (WGANSA 24-28/06/2011, Vigo).
- R. González-Quirós⁴ y E. Nogueira⁴. Informe de la campaña PELACUS0411. Condiciones hidrográficas y distribuciones de plancton.

Los autores de los citados documentos son trabajadores de plantilla pertenecientes al Instituto Español de Oceanografía de los Centros Oceanográficos de Vigo (1), Palma de Mallorca (2), Santander (3) y Gijón (4).

Resumen

Las **condiciones hidrográficas** observadas durante la campaña Pelacus0411, realizada entre el 26 de marzo y 20 de Abril de 2011 en aguas de la plataforma continental Nord Ibérica, son las propias de comienzos de primavera, caracterizadas por una incipiente estratificación térmica y la presencia de agua de baja salinidad cerca de la costa, principalmente en las proximidades de las desembocaduras de los principales ríos. La fluorescencia (variable indicadora de la abundancia de fitoplancton –producción primaria) presentó los valores más elevados en superficie sobre el talud continental en la zona de Galicia, influenciada por la masa de agua de alta salinidad asociada a la contracorriente de talud (‘Corriente Ibérica hacia el Polo’). A partir del Cantábrico Central, frente a la costa Asturiana, y hacia la zona interna del Golfo de Vizcaya, se observó un máximo sub-superficial de clorofila entorno a los 20 o 30 m.

La biomasa total de **sardina** en la zona de estudio estimada mediante métodos acústicos fue de 11.768 toneladas (t) (151106 individuos). Esta especie se localizó preferentemente en la plataforma de Asturias (sub-área ICES VIIIcE-w), en contraste con su práctica ausencia en aguas de la plataforma de Galicia (sub-áreas ICES IXa-N y VIIIcW). Los individuos más jóvenes, de edades entre 1 y 2 años, predominaron en Galicia (sub-área ICES IXaN), mientras que los de mayor edad, 3 años, fueron más abundantes en la plataforma de Asturias y del País Vasco (sub-áreas ICES VIIIcE-w y VIIIcE-e respectivamente). Las estimas de abundancia de sardina en la campaña de 2011 son las más bajas de la serie desde 2001 y suponen un motivo de preocupación en relación al estado del stock. Si no tiene lugar un reclutamiento importante, el último de los cuales tuvo lugar en 2004, la previsión apunta hacia un descenso continuado de la biomasa de sardina en la plataforma Nord Ibérica.

La biomasa estimada de **anchoa** fue de 2071 t, correspondiente a 142000 individuos. Éstos se localizaron en dos zonas separadas: al sur de Galicia (sub-área ICES IXa-N) y la parte interna del Golfo de Vizcaya (País Vasco y frontera con Francia; ICES sub-área VIIIcE-e y sub-división ICES VIIIb respectivamente), donde predominaron los individuos recién incorporados a la pesquería (i.e. 1 año de edad). Tanto la biomasa como el área ocupada por anchoa son superiores a las registradas en años anteriores.

En contraste con la situación de los adultos, los datos proporcionados por la CUFES (muestreados en continuo de huevos de peces) indicaron que los huevos de sardina se localizaron en

toda el área prospectada en número similar a los encontrados en la campaña del año anterior, si bien más cerca de costa. Respecto a anchoa, se ha observado un incremento significativo tanto de la abundancia y extensión del área de distribución de huevos, más allá de la tradicional zona de presencia localizada en la parte interna del Golfo de Vizcaya.

Introduction

El Instituto Español de Oceanografía inició la serie de campañas acústicas de primavera en 1984 con la finalidad de estimar los recursos pesqueros de pequeños peces pelágicos en la plataforma continental del noroeste y norte de la Península Ibérica, entre las divisiones ICES IXa (sur de Galicia) y VIIIc (Mar Cantábrico). Las series anuales de campañas han experimentado ciertos cambios metodológicos, derivados de nuevos desarrollos y técnicas relacionadas con los métodos acústicos, y un incremento en los objetivos que se persiguen. En la primera década de la serie, entre 1984 y 1996, el principal objetivo de las campañas (denominadas SARACUS y PELACUS) fue la estimación de la biomasa del stock de sardina mediante métodos acústicos en combinación con pescas de arrastre pelágico para determinar la composición específica, estructura de tamaños-edad y condición biológica de los cardúmenes detectados. Durante estas campañas se adquiría además información auxiliar relativa a las condiciones oceanográficas y composición / distribución de diferentes componentes del plancton, fundamentalmente fitoplancton y mesozooplancton. A partir del año 2000, la estimación de biomasa se extendió a los stocks de caballa, jurel y anchoa, y a partir del 2007 se estima la biomasa de toda la comunidad de pequeños pelágicos (p.ej. boga, bacaladilla). En paralelo al incremento de especies pelágicas cuya biomasa es evaluada, los objetivos de las campañas se ampliaron al estudio de otros componentes del ecosistema (p.ej. aves y mamíferos marinos a partir de 2007) y sus interrelaciones (p.ej. análisis de contenidos estomacales para estudios de interacciones tróficas). La razón detrás del incremento de objetivos hay que buscarla en el nuevo paradigma de evaluación y gestión pesquera basados en la aproximación ecosistémica. Este incremento de objetivos de las campañas hace que éstas sean una excelente plataforma de monitorización del ecosistema pelágico de la plataforma continental Nord Ibérica.

No obstante, la posibilidad implementación de nuevos objetivos, que lleva aparejado el muestreo y análisis mediante métodos específicos, viene condicionada por la disponibilidad de recursos, tanto materiales como humanos. En este sentido, la financiación de la Consejería de Medio Rural y Pesca del Principado de Asturias para la ejecución del proyecto EcoAnchoa-Asturias en 2011 ha posibilitado la realización de muestreos específicos para determinar la distribución de huevos y larvas de sardina y anchoa (ictioplancton) y el estudio de la condición biológica de las larvas de estas especies mediante métodos moleculares.

Material y Métodos

Hidrografía y plancton (entre bacterioplancton e ictioplancton)

Se realizaron un total de 100 estaciones de hidrografía y muestreo de plancton, distribuidas en 25 radiales de 5 estaciones cada uno (Figura 1). La distancia entre la estación costera y la oceánica de cada radial fue de al menos 20 millas o hasta alcanzar la isóbata de 500 m. El muestreo de hidrografía y plancton se realiza durante la noche. En todas las estaciones se realizó un perfil con una roseta oceanográfica provista de una sonda CTD *Seabird SBE19* con un fluorímetro acoplado y 10 botellas oceanográficas tipo *Niskin* para la recogida de muestras de agua. Los perfiles se realizaron hasta 10 m por encima del fondo o hasta un máximo de 500 m. En las estaciones costera, central y oceánica de cada radial se recogieron muestras de agua hasta un máximo de 5 profundidades. Las profundidades estándar fueron 0, 20, 50 (40 en las estaciones costeras), 100 y 500 o la máxima profundidad del perfil. En superficie, además de lo ya descrito para todas las estaciones, se tomaron muestras para determinar la concentración de clorofila fraccionada por tamaños (0.2, 2 y 20 μm de poro de filtro). En el resto de profundidades, las muestras de agua se destinaron al análisis de la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos, clorofila total y abundancia y composición por citometría de picoplancton autótrofo y heterótrofo.

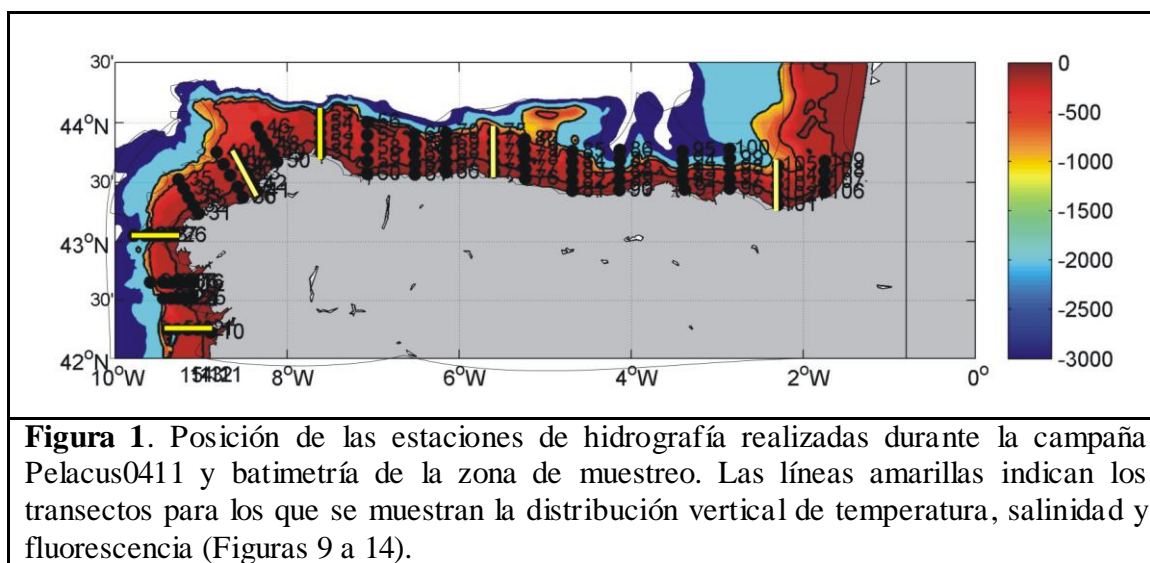


Figura 1. Posición de las estaciones de hidrografía realizadas durante la campaña Pelacus0411 y batimetría de la zona de muestreo. Las líneas amarillas indican los transectos para los que se muestran la distribución vertical de temperatura, salinidad y fluorescencia (Figuras 9 a 14).

A continuación se realizaron pescas con una serie de redes con el objetivo de analizar distintos componentes de la comunidad planctónica:

- (1) Mesoplancton (200-2000 μm de diámetro esférico equivalente, ESD), mediante pesca con red doble tipo WP2 de 200 μm de malla. La muestra obtenida con uno de los colectores se conservó en formol al 4% para la determinación de la abundancia y composición taxonómica de este componente. La muestra procedente del otro colector se fraccionó por medio de una serie de tamices con distinto tamaño de malla (200, 500, 1000 y 2000 μm) para determinar el peso seco y la proporción de isótopos estables de carbono y nitrógeno.
- (2) Microplancton (53-200 μm ESD), mediante pesca con red doble tipo CaIVET con malla de 53 μm . Al igual que para el caso mesoplancton, una muestra se conservó en formol al 4% para la determinación de la abundancia y composición taxonómica de este componente y la otra se utilizó para determinar el peso seco y la proporción de isótopos estables correspondientes a la fracción 53-200 μm .
- (3) Fitoplancton de red mediante pesca con una red de fitoplancton de 40 μm de malla. Del plancton recogido se obtienen una serie de sub-muestras para la determinación del peso seco, relaciones entre isótopos estables, concentración de clorofila y composición taxonómica.

(4) Ictioplancton (actividades específicas del proyecto EcoAnchoa-Asturias 2011). Se muestreó mediante red doble tipo bongo de 335 μm de malla. Uno de los colectores se conservó en formol al 4% para determinar en el laboratorio la abundancia y composición de huevos y larvas de peces. La muestra contenida en el otro colector se trió a bordo para obtener larvas de sardina y anchoa que se congelaron en nitrógeno líquido para analizar posteriormente en el laboratorio los niveles de expresión de genes relacionados con el metabolismo como indicadores del estado de condición de las larvas.

Además, durante toda la campaña, tanto de día como de noche, se lleva a cabo un muestreo en continuo, mediante termosalinógrafo y fluorómetro, para determinar la salinidad, temperatura y fluorescencia (variable sub-rogada de la concentración de clorofila, indicadora de la biomasa de fitoplancton) en superficie (a unos 5 m de profundidad). Se adquieren además datos de las condiciones meteorológicas (velocidad y dirección del viento, temperatura del aire y humedad relativa) a lo largo del recorrido que realiza el buque oceanográfico.

El análisis de las muestras de plancton para la determinación de la abundancia y composición por grupos (fracciones de picoplancton autótrofo y heterótrofo, nano- y microfitoplancton, mesozooplancton), así como el de huevos y larvas de sardina y anchoa en la columna de agua, se encuentra en curso.

Distribución de huevos

La distribución de huevos de pequeños pelágicos en superficie (a 5 m de profundidad), con especial atención a los de sardina y anchoa, se muestrea mediante el sistema en continuo CUFES ('Continuous Underway Fish Egg Sampler'). Las muestras se recogen cada 3 millas náuticas (Figura 2), y los huevos de sardina, anchoa y de otras especies son triadas y contadas a bordo.

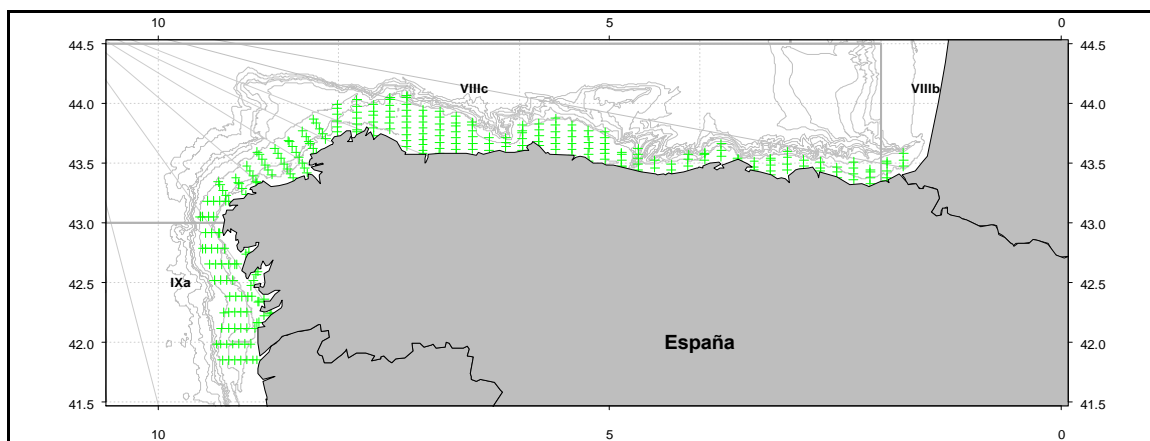
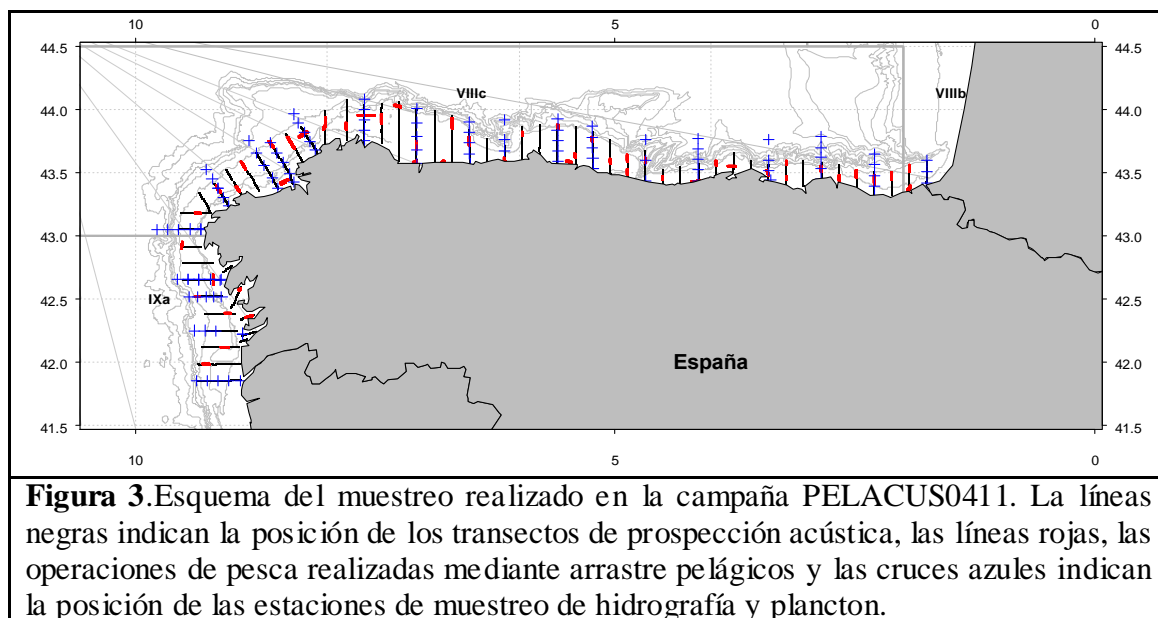


Figura 2. Estaciones de muestreo de huevos en superficie adquiridos mediante el sistema de muestreo en continuo CUFES

Estimación de la biomasa de la comunidad de pequeños peces pelágicos

El muestreo acústico se realiza durante el día, entre la salida y puesta del sol, ya que es el momento en que los pequeños pelágicos se agregan formando cardúmenes. La prospección acústica se realiza siguiendo una parrilla de radiales perpendiculares a costa, que se extienden aproximadamente entre las isóbatas de 30 y 200 m de profundidad y que se encuentran separados entre sí 8 millas náuticas Iglesias et al. (2010) (Figura 3).



La energía acústica se mide mediante una ecosonda científica EK-60 (Simrad) que opera a 5 frecuencias (18, 38, 70, 120 y 200 kHz). Cada una de las frecuencias se calibró al inicio de la campaña de acuerdo con los protocolos estándar (Foote *et al.*, 1987). La distancia elemental de muestreo se fijó a 1 milla náutica. Los datos acústicos se obtuvieron exclusivamente durante el día, entre la salida y puesta del sol, a una velocidad de crucero de 10 nudos. Los datos se almacenaron en ficheros en formato 'raw', y procesados mediante el programa informático 'SonarData Echoview'. Los valores de integración acústica se expresaron en unidades del coeficiente de dispersión acústica por milla náutica cuadrada (s_A , $m^2 \times mn^{-2}$) (MacLennan *et al.*, 2002).

La abundancia de pequeños peces pelágicos se calculó a partir de los datos acústicos obtenidos a una frecuencia de 38 kHz de acuerdo con las recomendaciones del Consejo Internacional para la Exploración del Mar (ICES 2002). Se utilizó además la información acústica adquirida a 120 kHz con objeto de diferenciar la dispersión acústica asociada a pequeños pelágicos de la producida por otras dianas acústicas, como plancton o burbujas, así como para diferenciar entre diferentes especies de pequeños pelágicos en base a la intensidad del eco producido. El valor umbral de energía acústica utilizado en el escrutinio de los ecogramas se estableció en -60 dB. La energía acústica (s_A) se asignó a las distintas especies de pequeños pelágicos de acuerdo con las proporciones de estas especies en las estaciones de pesca (Nakken and Dommasnes, 1975). Con esta finalidad, los valores de 'fuerza de blanco' (TS, 'target strength') utilizados fueron: -72.6 dB para sardina y anchoa (*Sardina pilchardus* y *Engraulis encrasicolus* respectivamente); -68.7 dB para jurel (*Trachurus trachurus*, *T. picturatus* and *T. mediterraneus*); -67 dB para boga (*Boops boops*); -68.7 para tonino (*Scomber colias*); -84.9 dB para caball (*Scomber scombrus*); -67.5 para bacaladilla (*Micromesistius poutassou*).

Las operaciones de pesca se realizaron de día mediante red de arrastre pelágico. El objetivo de las pescas, que se realizan de forma oportunista, es el de identificar las especies detectadas durante la prospección acústica, así como proporcionar información relativa a la estructura de tamaños y condición biológica (p.ej. condiciones estomacales, relación entre sexos, estado de madurez sexual...) de las mismas. Los arrastres pelágicos tuvieron una duración mínima de 20 minutos. La distribución de tallas se obtuvo para todas las especies presentes en la captura (bien para todos los individuos capturados o para una sub-muestra constituida por 100-200 individuos). Para la estimación acústica se utilizaron únicamente las distribuciones de tallas procedentes de al menos 30 individuos muestreados cuya distribución de tallas se ajustase a una distribución normal. Asimismo, los individuos tallados fueron pesados para obtener la relación talla-peso-edad. Para la

estimación de edad se extrajeron los otolitos de una sub-muestra de los individuos tallados y pesados.

Resultados

Hidrografía y plancton

Las condiciones hidrográficas observadas durante la campaña Pelacus0411 son las típicas de principios de primavera, con una incipiente estratificación térmica y la presencia de agua de baja salinidad cerca de la costa, principalmente en las proximidades de la desembocadura de los principales ríos de la zona.

La temperatura superficial más alta, en torno a los 15 °C, se observó en la zona más interna del Golfo de Vizcaya, coincidiendo con los valores más bajos de salinidad que revelan la influencia del Río Adour (Figura 4). Esta asociación inversa entre temperatura y salinidad también se observó cerca de la desembocadura del Río Nalón, aunque con una zona de influencia menor y más cercana a la costa como corresponde a la diferencia de caudal entre ambos ríos. A pesar de que la temperatura del agua que los ríos vierten al mar en invierno y primavera suele ser más baja que la temperatura del mar en esa misma época, la estabilidad que la baja salinidad confiere a la columna de agua (i.e. estratificación halina) contribuye al calentamiento de la capa superficial, en contraste a lo que ocurre con otros cuerpos de agua menos estratificados. Este patrón fue consistente en los primeros metros de la columna de agua, si bien la influencia de los aportes continentales va perdiendo intensidad progresivamente y de forma diferente según los casos; en la zona central del Cantábrico la presencia de agua de origen continental desaparece ya a los 10 m (Figura 5), mientras en la Rías Bajas y en la parte interna del Golfo de Vizcaya se mantiene todavía a 20 m (Figura 6 y 7).

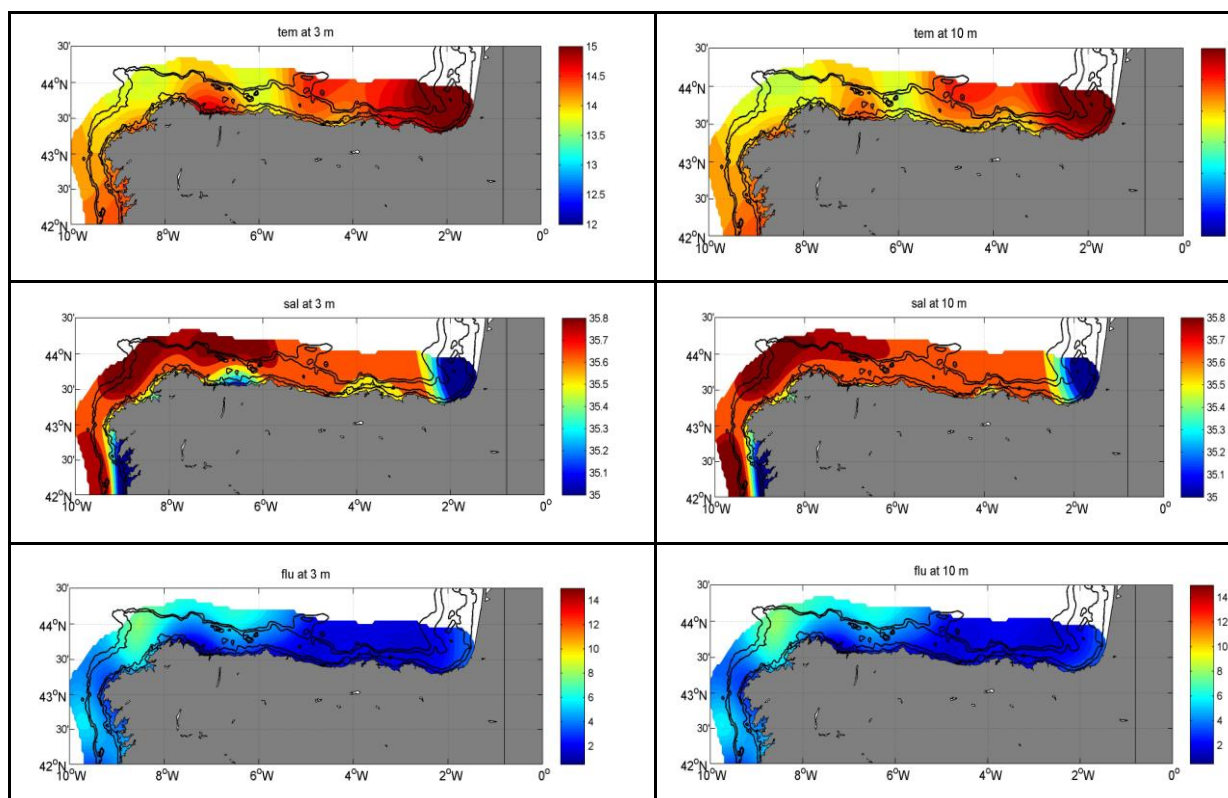


Figura 4. Distribución de los valores de temperatura, salinidad y fluorescencia (como indicador de la biomasa de fitoplancton) (de arriba a abajo) para las profundidades de 3 m (columna de la izquierda) y 10 m (columna de la derecha).

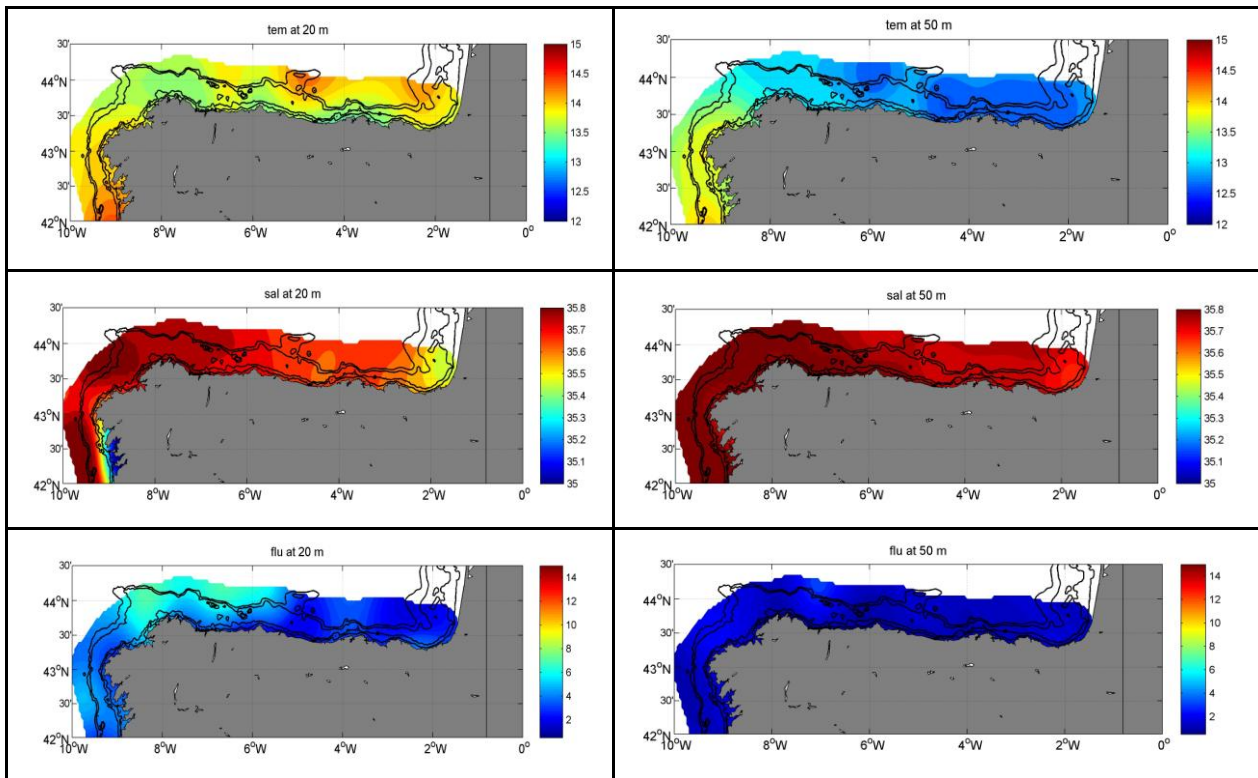


Figura 5. Como en la Figura 4, para las profundidades de 20 m (columna de la izquierda) y 50 m (columna de la derecha)

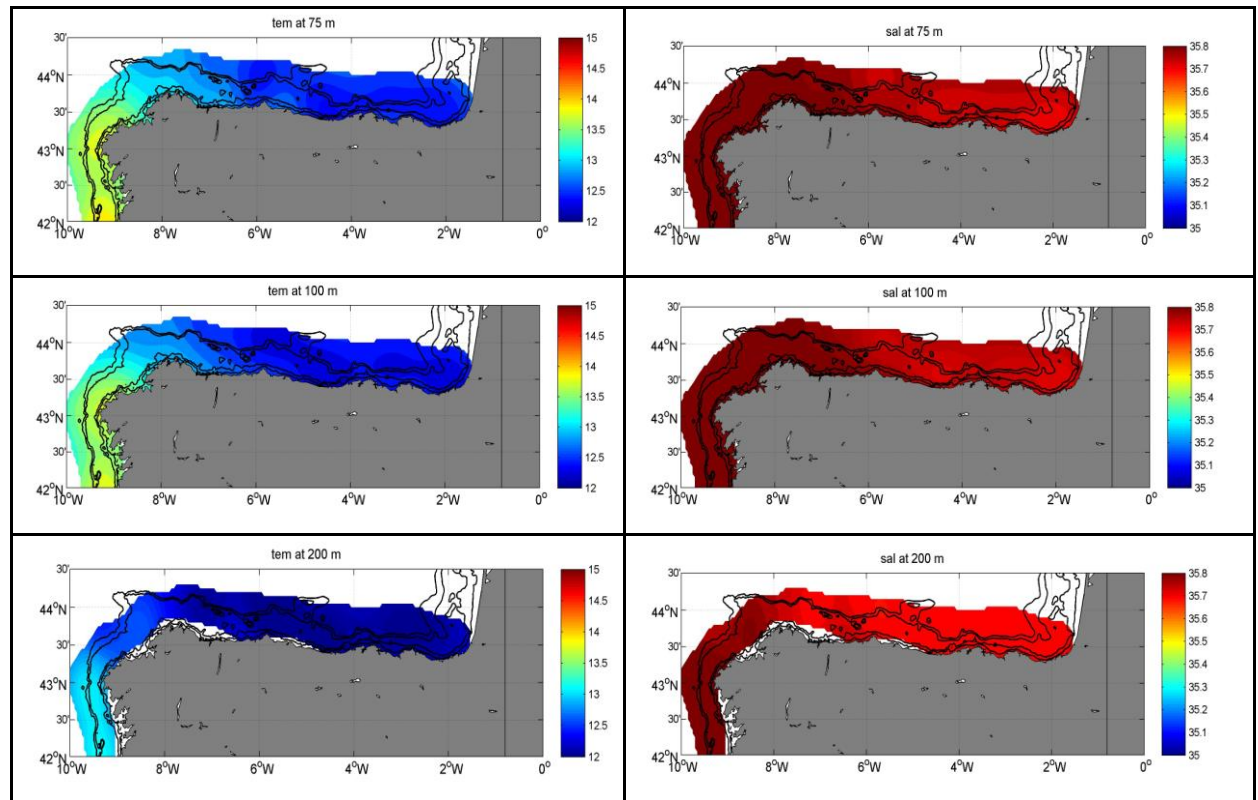


Figura 6. Distribución de los valores de temperatura (columna de la izquierda) y salinidad (columna de la derecha) para las profundidades (de arriba a abajo) de 75, 100 y 200 m.

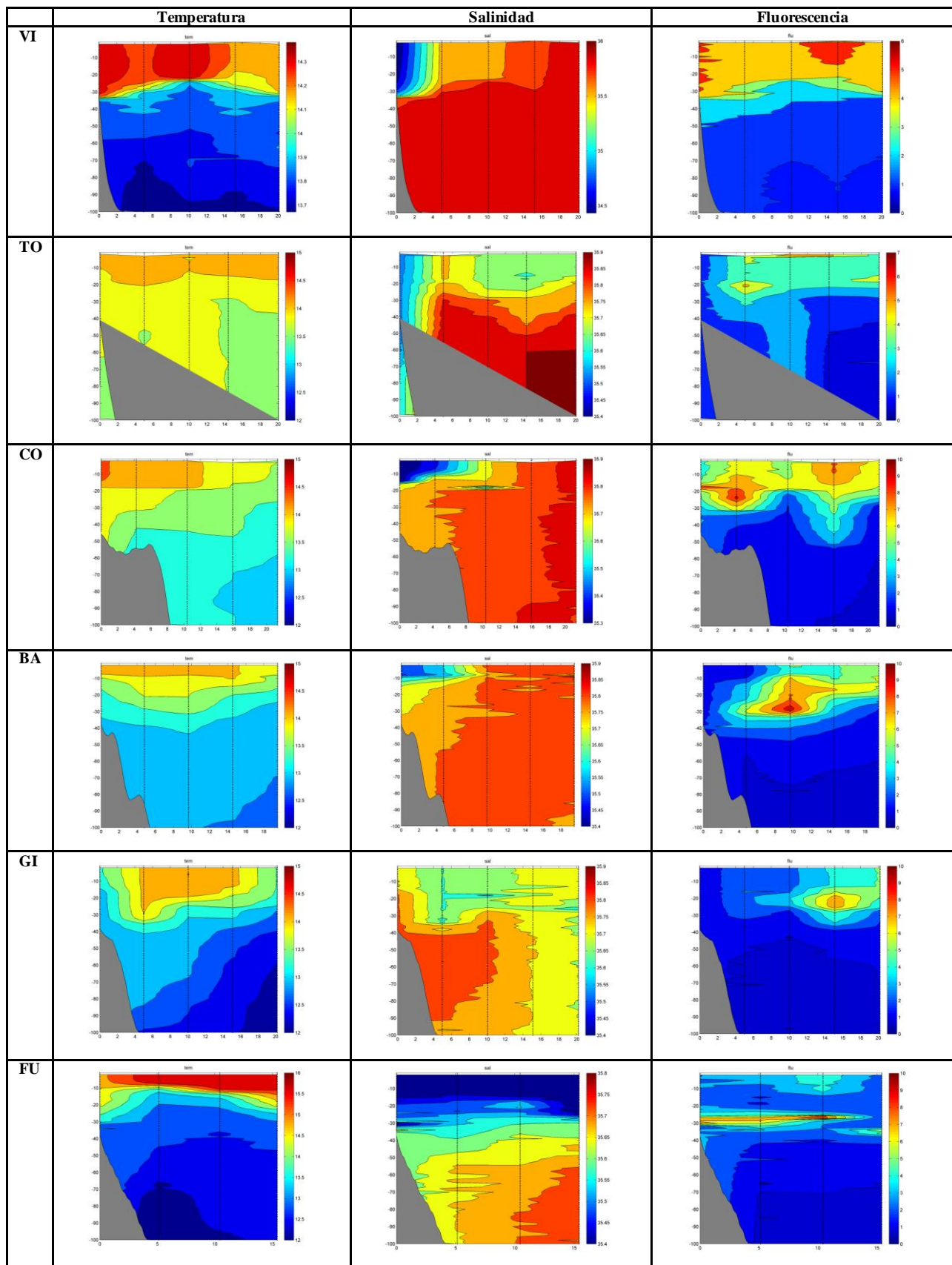


Figura 7. Temperatura, salinidad y fluorescencia en los primeros 100 m de la columna de agua a lo largo del transecto situado frente a: Vigo (VI, estaciones 1 a 5); Cabo Touriñán (TO, 26 a 30); A Coruña (CO, 41 a 45); Cabo Estaca de Bares (BA, 51 a 55); Gijón (GI, 71 a 75); Fuenterrabía (FU, 106 a 109).

La salinidad superficial más alta se observó sobre el talud continental desde las Rías Bajas hasta el Cabo Peñas (Figura 4). Estos valores de salinidad altos en superficie parecen corresponderse con la presencia de la Corriente Polar Portuguesa en la zona, que se desplaza a lo largo del borde de la plataforma continental del noroeste de la península Ibérica desde el otoño hasta la primavera. Esta corriente genera un frente con las aguas costeras con mayor influencia continental, especialmente aparente frente a las Rías Bajas. La Corriente Polar Portuguesa se caracteriza por valores de salinidad y temperatura relativamente elevadas, tal y como corresponde a su origen subtropical. Sin embargo los máximos superficiales de salinidad coinciden con los valores más bajos de temperatura, tal vez porque, como ya se dijo, la estratificación salina en zonas costeras haya contribuido a favorecer la estratificación térmica.

La relación positiva entre salinidad y temperatura, tal y como corresponde a la intrusión salina, sí se observa claramente a partir de los 50 m (Figuras 5, 6 y 7), donde la influencia de los aportes continentales desaparece. La distribución de la salinidad a estas profundidades sugiere que la influencia de la corriente llegó hasta la zona central del Cantábrico, en torno al Cabo Peñas. Esto parece generar un frente en esa zona, en este caso, perpendicular a la línea de costa.

La fluorescencia más alta se observó asociada a la masa de agua de alta salinidad sobre el talud continental, es decir, a la Corriente Polar Portuguesa, en los 10 primeros metros de la columna de agua. Ya frente a Gijón, y de forma más acusada hacia la zona interna del Golfo de Vizcaya, se observó un máximo sub-superficial de clorofila sobre los 20 o 30 m (Figura 7).

Abundancia y distribución de pequeños pelágicos

Sardina

La detección acústica de sardina durante la campaña del 2011 ha sido la más baja de la serie, con valores siempre inferiores a $1000 \text{ m}^2/\text{mn}^2$, concentrándose preferentemente en la zona de Asturias (sub-área ICES VIIIcE-w). Las detecciones fueron también bajas en el País Vasco (sub-área ICES VIIIcE-e) y sur de Galicia (sub-área ICES IXa-N) (Figura 8). Mediante las pescas de arrastre pelágico se capturaron individuos adultos en suficiente número para obtener una distribución de tallas representativa (i.e. al menos 30 individuos y una distribución de tallas normal) sólo en 10 de los 51 arrastres pelágicos realizados durante toda la campaña. La abundancia total estimada de sardina fue de 151×10^6 individuos, de los cuales 1.17×10^6 se estimaron para la división ICES VIIIb (Tabla 1). La biomasa total estimada fue de 11,768 t, de las cuales 87 t correspondieron a la división VIIIb (Tabla 2).

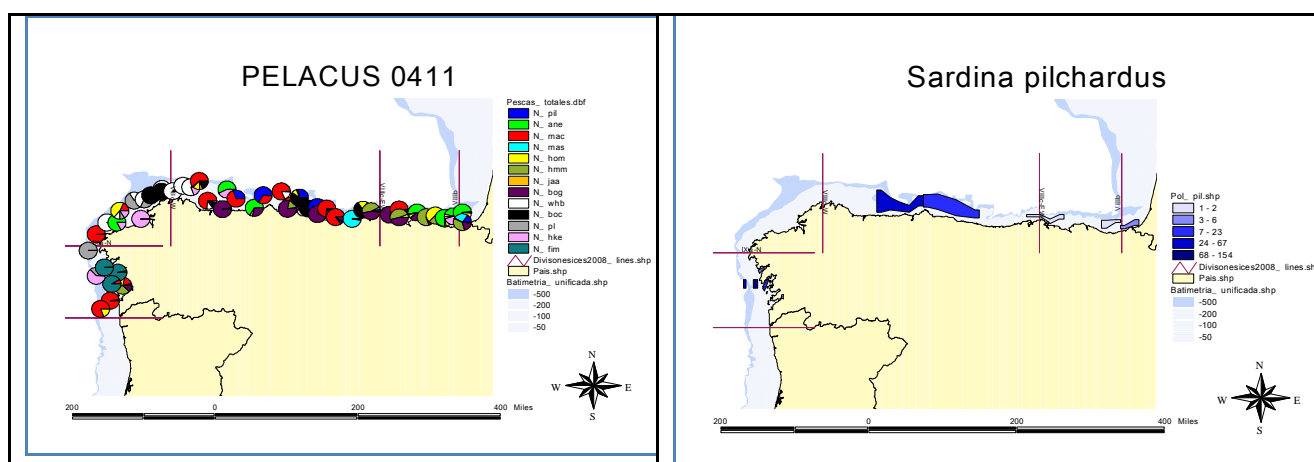


Figura 8. Distribución y composición porcentual de especies en las pescas realizadas mediante arte de arrastre pelágico (51 pescas válidas en total) (izquierda), y distribución de la energía acústica

asignada a sardina (derecha) durante la campaña PELACUS0411.

Tabla 1. Abundancia estimada de sardina ($\times 10^5$ individuos) por clase de tamaño y área ICES durante la campaña PELACUS0411.

ICES Sub-área						
Talla	IXa-N	VIIIc-W	VIIIc-EW	VIIIc-EE	VIIIb	Total
15.5	314	0	0	0	0	314
16	0	0	0	0	0	0
16.5	1884	0	0	0	0	1884
17	1570	0	220	8	0	1798
17.5	2826	0	414	5	0	3245
18	4710	0	167	8	38	4923
18.5	3140	0	167	36	19	3363
19	3454	0	167	52	19	3692
19.5	3768	0	247	64	96	4175
20	1256	0	1887	110	115	3369
20.5	2198	0	7157	138	115	9608
21	942	0	15020	164	250	16376
21.5	0	0	19715	96	211	20022
22	0	0	23604	68	96	23768
22.5	0	0	23760	54	135	23949
23	0	0	16927	27	19	16973
23.5	0	0	8489	11	0	8500
24	0	0	2581	3	19	2603
24.5	0	0	1385	11	19	1415
25	0	0	669	0	19	688
25.5	0	0	220	0	0	220
Total	26060	0	122797	854	1173	150884

Tabla 2. Biomasa estimada de sardina (t) por clase de tamaño y área ICES durante la campaña PELACUS0411.

ICES Sub-área						
Talla	IXa-N	VIIIc-W	VIIIc-EW	VIIIc-EE	VIIIb	Total
15.5	9		0	0	0	9
16	0		0	0	0	0
16.5	65		0	0	0	65
17	60		8	0	0	68
17.5	117		17	0	0	134
18	212		8	0	2	222
18.5	154		8	2	1	165
19	183		9	3	1	196
19.5	216		14	4	6	240
20	78		117	7	7	209
20.5	147		478	9	8	641
21	68		1078	12	18	1176
21.5	0		1520	7	16	1544
22	0		1951	6	8	1964
22.5	0		2102	5	12	2119
23	0		1601	3	2	1605
23.5	0		857	1	0	858
24	0		278	0	2	280
24.5	0		159	1	2	162
25	0		81	0	2	84
25.5	0		28	0	0	28
Total	1308	0	10313	60	87	11768

Table 3. Abundancia ($\times 10^6$ individuos) y biomasa (t) estimada derivada de la prospección acústica para las diferentes especies de pequeños pelágicos evaluadas durante la campaña PELACUS0411 en la zona de estudio: Sp = *Sardina pilchardus*, Ee= *Engraulis encrasicolus*, Ss= *Scomber scombrus*, Sc= *Scomber colias*, Tt = *Trachurus trachurus*, Tp = *Trachurus picturatus*, Tm = *Trachurus mediterraneus*, Bb = *Boops boops*, Mp = *Micromesistius poutassou*, Ca = *Capros aper*.

	Sp	Ee	Ss	Sc	Tt	Tm	Tp	Bb	Mp	Ca	Total
Abundance	151	142	2583	42	54	35	2	132	146	3519	6806
Biomass	11768	2702	363669	12794	10582	8547	486	27005	4833	224879	667265

De las 10 especies de pequeños pelágicos para las que se realizó una estimación de su abundancia / biomasa, la caballa representó aproximadamente el 50% de la biomasa total estimada de pequeños pelágicos, seguida del trompetero (*Capros aper*) con 33.7% (Tabla 3). La biomasa de sardina representó tan sólo el 2% del total de la biomasa estimada de pequeños pelágicos. Casi la totalidad de la sardina detectada durante la campaña (81% en abundancia, 87% en biomasa) se localizó en la zona de Asturias (sub-área ICES VIIIcE-w). En la zona sur de Galicia (sub-área ICES IXaN) se localizó solamente el 11% de la biomasa total estimada de sardina (17% en abundancia).

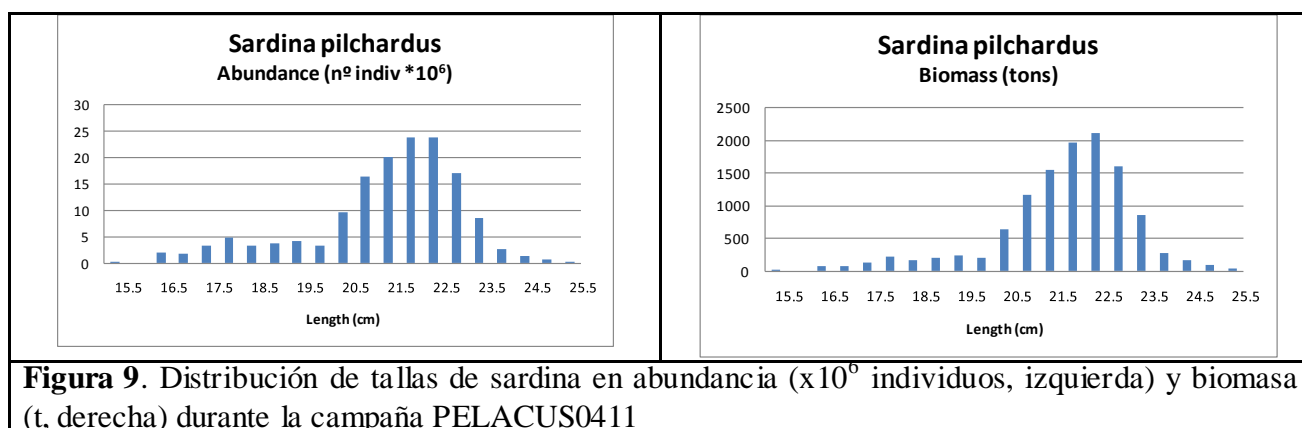
Tabla 4. Abundancia (x106 individuos) y biomasa (t) estimada derivada de la prospección acústica para las diferentes especies de pequeños pelágicos evaluadas durante la campaña PELACUS0411 en la zona de estudio: Sp = Sardina pilchardus, Ee= Engraulis encrasicolus, Ss= Scomber scombrus, Sc= Scomber colias, Tt = Trachurus trachurus, Tp = Trachurus picturatus, Tm = Trachurus mediterraneus, Bb = Boops boops, Mp = Micromesistius poutassou, Ca = Capros aper.

	Sp	Ee	Ss	Sc	Tt	Tm	Tp	Bb	Mp	Ca	Total
Abundance	151	142	2583	42	54	35	2	132	146	3519	6806
Biomass	11768	2702	363669	12794	10582	8547	486	27005	4833	224879	667265

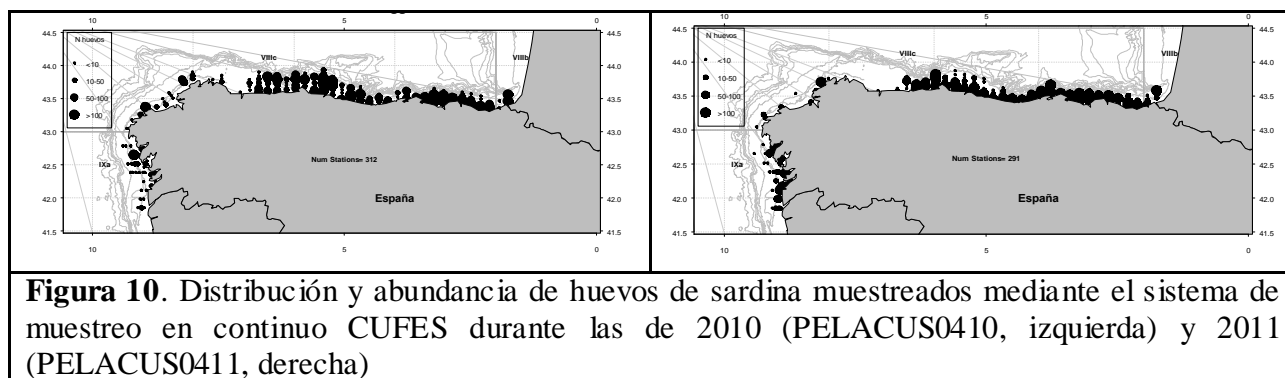
Tabla 5. Abundancia (x103) y biomasa (t) de sardina por clase de edad y sub-área ICES estimadas durante la campaña PELACUS0411.

AREA VIIIcE east	EDAD										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Biomass (tons)	0	12	26	17	2	1	1	0	0	0	60
% Biomass	0.7	20.9	42.8	29.2	2.7	1.4	1.7	0.5	0.3	0.0	100
Abundance (in '000)	11	218	362	223	18	9	10	3	1	0	854
% Abundance	1.3	25.5	42.4	26.1	2.1	1.0	1.2	0.3	0.2	0.0	100
Medium Weight (gr)	38.8	57.2	70.6	78.4	89.8	92.3	101.9	113.9	113.4	0.0	79.7
Medium Length (cm)	17.4	19.7	21.1	21.8	22.8	23.0	23.8	24.7	24.7	0.0	20.2
AREA VIIIcE west	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Biomass (tons)	13	143	2120	4084	1400	836	484	322	401	511	10313
% Biomass	0.1	1.4	20.6	39.6	13.6	8.1	4.7	3.1	3.9	5.0	100
Abundance (in '000)	317	2378	27644	49436	16208	9616	5102	3274	3966	4855	122797
% Abundance	0.3	1.9	22.5	40.3	13.2	7.8	4.2	2.7	3.2	4.0	100
Medium Weight (gr)	40.2	60.2	76.7	82.6	86.4	86.9	94.8	98.4	101.2	105.3	80.8
Medium Length (cm)	17.6	20.0	21.7	22.2	22.5	22.6	23.3	23.5	23.8	24.1	21.9
AREA VIIIcW	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Biomass (tons)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% Biomass	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Abundance (in '000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% Abundance	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Medium Weight (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Medium Length (cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AREA IXaN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Biomass (tons)	285	1023	0	0	0	0	0	0	0	0	1308
% Biomass	21.8	78.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
Abundance (in '000)	7168	18892	0	0	0	0	0	0	0	0	26060
% Abundance	27.5	72.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
Medium Weight (gr)	39.8	54.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7
Medium Length (cm)	17.5	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1
TOTAL SPAIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Biomass (tons)	298	1179	2145	4101	1401	836	485	322	402	511	11681
% Biomass	2.6	10.1	18.4	35.1	12.0	7.2	4.2	2.8	3.4	4.4	100
Abundance (in '000)	7496	21488	28007	49659	16226	9625	5112	3277	3968	4855	149711
% Abundance	5.0	14.4	18.7	33.2	10.8	6.4	3.4	2.2	2.7	3.2	100
Medium Weight (gr)	39.8	54.9	76.6	82.6	86.4	86.9	94.8	98.4	101.2	105.3	82.7
Medium Length (cm)	17.5	19.4	21.7	22.2	22.5	22.6	23.3	23.5	23.8	24.1	22.1

El rango de tallas de sardina estuvo comprendido entre 15.5 y 25.5 cm, con una talla modal de 22.5 cm (Figura 9). Una parte importante de los individuos (33% en abundancia, 35% en biomasa) en toda el área muestreada se asignaron a la clase de edad 4 años (Tabla 4, Figura 9). Por sub-áreas ICES, los individuos de edad 2 años predominaron en la zona sur de Galicia (sub-área ICES IXa-N), mientras que los individuos de edad 3 años predominaron en la parte este del Cantábrico (42% en abundancia, 43% en biomasa en la sub-área ICES VIIIcE-e).



La distribución de huevos de sardina, obtenidas a partir de 2091 estaciones de muestreo muestreadas mediante el sistema de muestreo en continuo CUFES, indica que, en contraposición a lo que ocurre con la distribución de adultos, los huevos de sardina se localizaron en toda el área de muestreo, si bien de forma predominante en la zona del Cantábrico. En todas las áreas, la mayoría de los huevos se localizaron cerca de la costa (Figura 10).



Anchoa

La anchoa se capturó en cantidades suficientes para obtener una distribución representativa de tamaños en 13 de las 51 operaciones de pesca realizadas durante la campaña, con captura comprendidas entre 1 y 60 kg. La abundancia de anchoa en la zona prospectada se estimó en 142×10^6 individuos (Tabla 3), lo que supone una biomasa de 2702 t. El 55% de la biomasa estimada se localizó en Galicia (sub-área ICES IXa-N), mientras que un 33.5% de la biomasa total estimada se localizó en el País Vasco y zona frontera con Francia (sub-áreas ICES VIIIcE-e and VIIIb respectivamente) (Figura 9). También se realizaron pescas positivas de anchoa al norte de Finisterre (sub-división ICES VIIIcW) y en Asturias (ICES sub-área VIIIcE-w). La biomasa de anchoa representó el 0.4% de la biomasa total estimada para el conjunto de especies de pequeños pelágicos evaluados (Tabla 3).

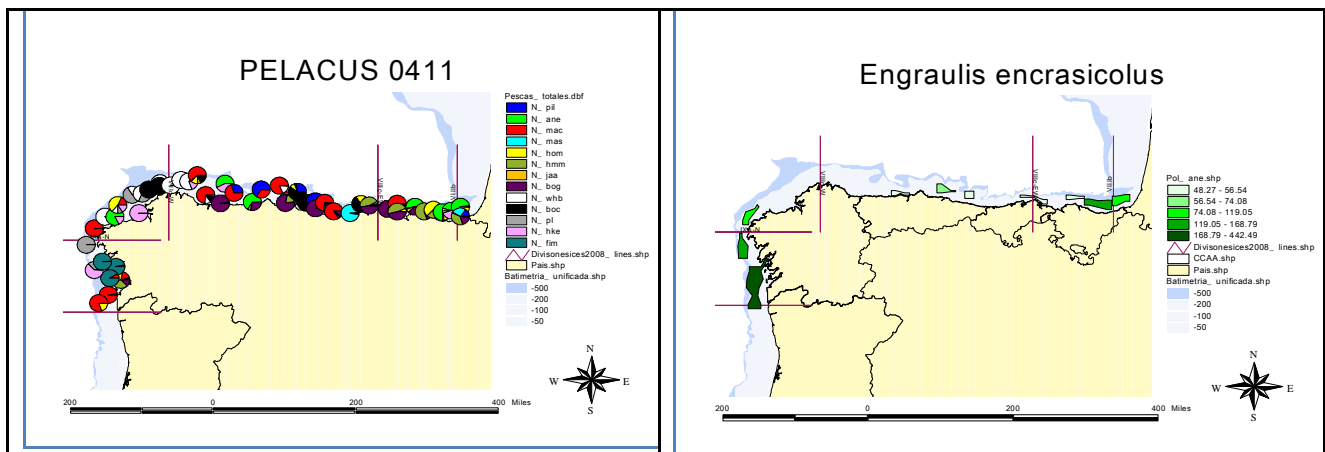


Figura 11. Distribución y composición porcentual de especies en las pescas realizadas mediante arte de arrastre pelágico (51 pescas válidas en total) (izquierda), y distribución de la energía acústica asignada a anchoa (derecha) durante la campaña PELACUS0411.

El rango de tallas de anchoa estuvo comprendido entre 11 y 18.5 cm, con una talla modal de 14.5 cm (Figura 12). La aplicación de la clave talla-edad obtenida durante la campaña indica que los individuos de la clase de edad 1 año, procedentes del reclutamiento acaecido en 2010, dominaron en la zona del País Vasco y frontera con Francia así como en la zona de Asturias. En estas zonas, muy pocos individuos se asignaron a la clase de edad 2 años, procedentes del reclutamiento que tuvo lugar en el año 2009. En la zona de Galicia, predominaron los individuos de edad 2 años seguidos de cerca por los individuos de 1 año de edad en la zona sur (Rías Baixas), mientras que la situación opuesta (dominancia de clase de edad 1 año frente a 2 años) se observó al norte del Cabo Finisterre.

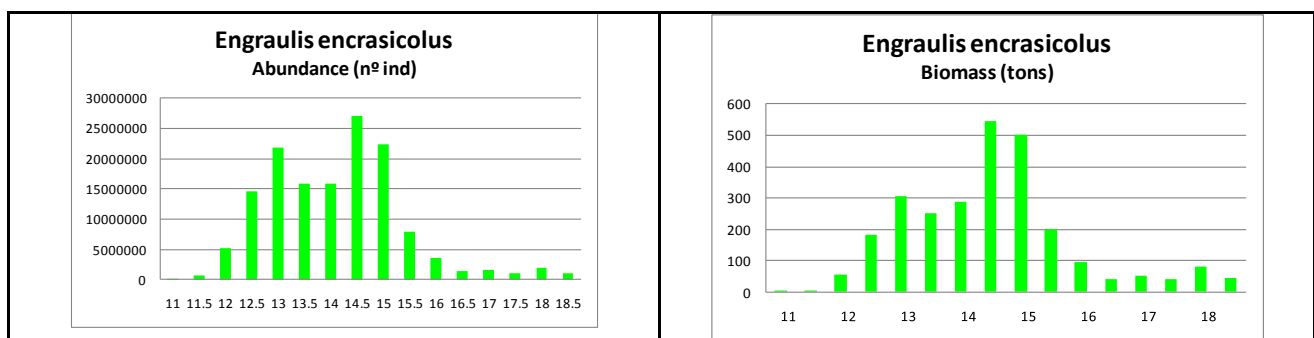


Figura 12. Distribución de tallas de anchoa en abundancia ($\times 10^6$ individuos, izquierda) y biomasa (t, derecha) durante la campaña PELACUS0411

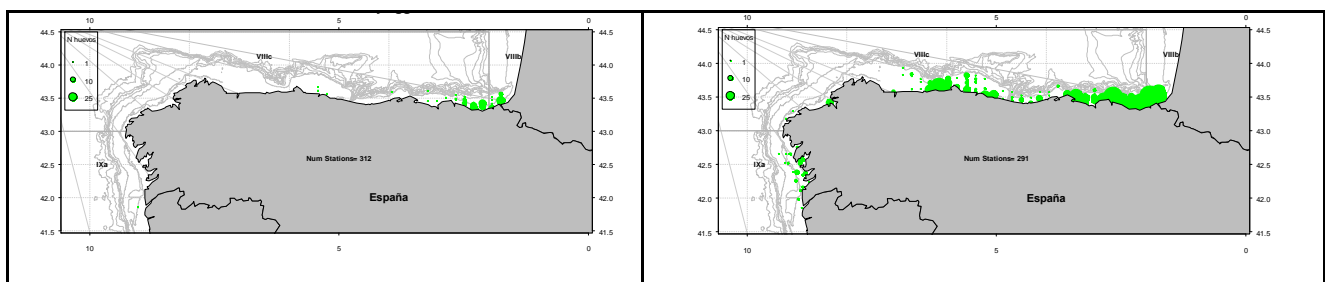


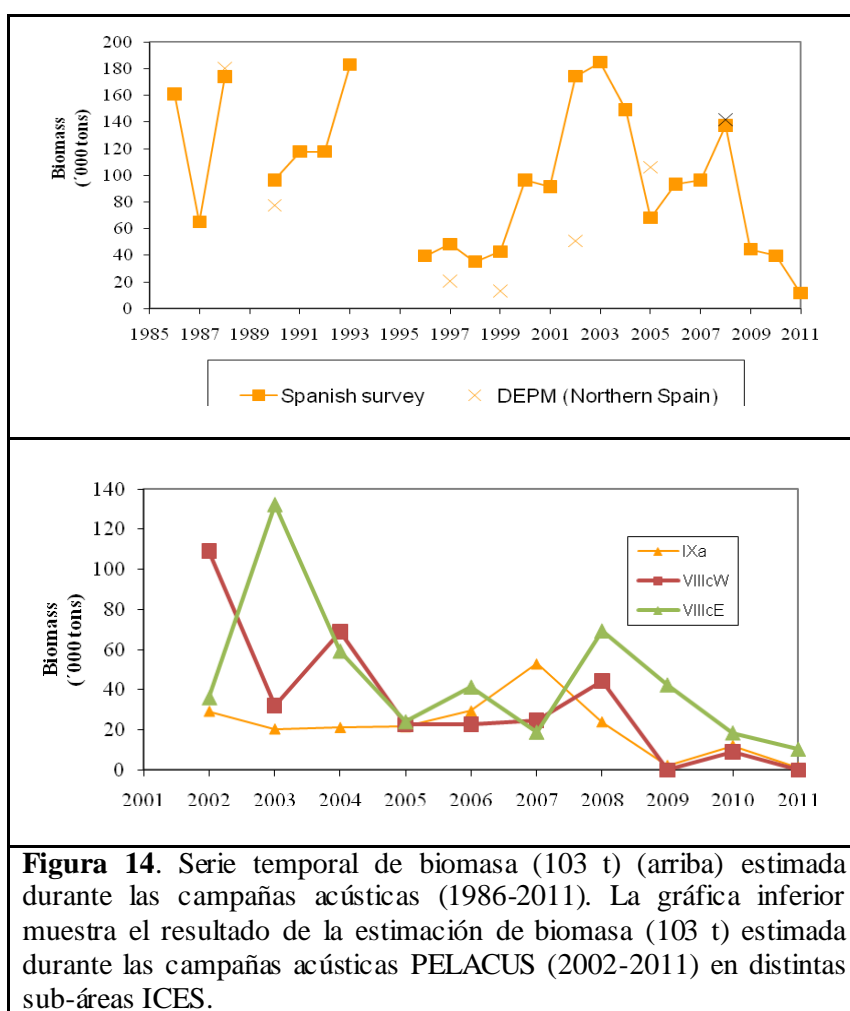
Figura 13. Distribución y abundancia de huevos de anchoa muestreados mediante el sistema de muestreo en continuo CUFES durante las campañas de 2010 (PELACUS0410, izquierda) y 2011 (PELACUS0411, derecha)

La distribución de huevos de anchoa se extendió por toda el Cantábrico, si bien las mayores concentraciones se localizaron en la zona interna del Golfo de Vizcaya (Figura 13). La zona de distribución resulto significativamente superior a la obtenida en el año 2010 (campaña

PELACUS0410). Además, se localizaron huevos de anchoa también en las rías Gallegas (sub-áreas ICES IXa-N and VIIIcW). El número total de huevos de anchoa contabilizado fue de 2797.

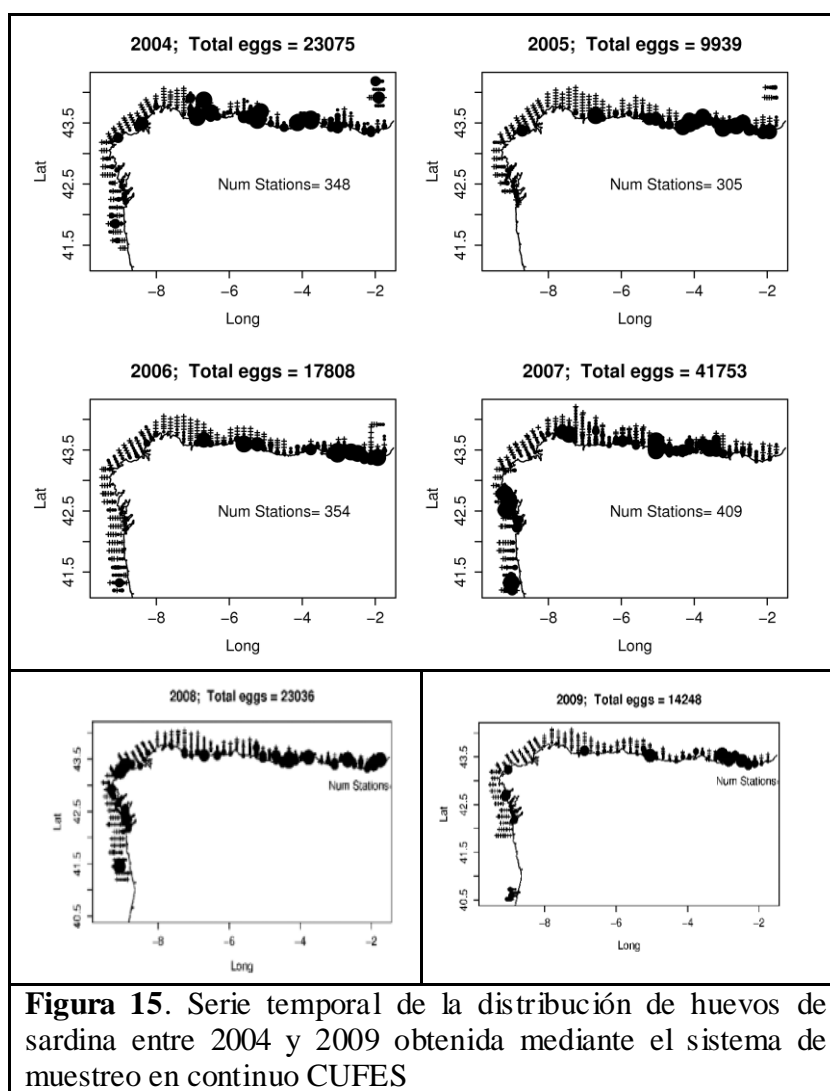
Conclusiones

La abundancia de sardina en aguas de la plataforma noroeste de la Península Ibérica (Galicia) depende del reclutamiento que tenga lugar en el norte de Portugal, ya que esta zona constituye la principal área de reclutamiento en las dos últimas décadas. En la zona sur de Galicia, los juveniles nacidos en el norte de Portugal son objeto, junto con los adultos que realizan una migración de alimentación, de la pesca mediante arte de cerco durante el verano (Carrera & Porteiro, 2003). Las consecuencias de una serie de reclutamientos bajos o próximos al valor promedio han sido detectadas por la serie de campañas PELACUS, y han dado lugar a un descenso continuado de la abundancia y biomasa de sardina en aguas Españolas a partir del año 2002 (Figura 14). El buen reclutamiento acaecido en 2004 frenó la tendencia descendente por unos años (aunque las abundancias por clase de tamaño parecen indicar que el nivel de dicho reclutamiento no estuvo al nivel del ocurrido en el año 2000, al menos para las aguas Españolas). Los resultados que arrojan las capturas y las campañas indican que la cohorte surgida del reclutamiento acaecido en 2004 ha desaparecido. Actualmente, tanto la abundancia como la biomasa están a los niveles más bajos registrados. En el Cantábrico, la situación es menos mala debido a la influencia de los desplazamiento de individuos procedentes de la aguas Francesas (donde se han registrados reclutamiento importantes de acuerdo con los resultados de la campaña acústica Francesa PELGAS) (Figura 14).



Dado que la mayor parte del stock de sardina Ibérica (considerado como un unidad a efectos de gestión, ICES 2006) se localiza en aguas de Portugal, los resultados de las campañas acústicas realizadas por Portugal (campaña PELAGOS) son relevantes para obtener una visión más completa del estado del stock. La campaña PELAGOS realizada en 2011 indica que ha tenido lugar una reducción de la abundancia y biomasa del stock de sardina a partir de 2006. Tanto las series de estimas de abundancia y biomasa de Portugal y España indican que los valores de reclutamiento más bajos de la serie se han observado en el presente año (Marques et al., 2011).

La abundancia total de huevos registrados durante la campaña del 2001 es similar a la observada en el 2010. No obstante, ha tenido lugar en 2011 un descenso en el número de estaciones positivas (i.e. con presencia de huevos) respecto al 2010, y la distribución espacial más próxima a costa. Los huevos de sardina han sido abundantes especialmente en el interior de las rías Gallegas, una situación persistente desde el año 2007 y que contrasta con la observada en años anteriores en los que no se registraban apenas huevos de sardina en esta zona. No obstante, los resultados de distribución de huevos mediante CUFES deben ser tomados con precaución dado que tanto su distribución como la abundancia son altamente dependientes del viento y corrientes predominantes en la zona durante las fechas previas y concurrentes en las que se lleva a cabo el muestreo.



Combinando las evidencias suministradas por las campañas de acústica y de distribución de huevos (campaña SAREVA para la estimación de abundancia de sardina mediante el método de producción diaria de huevos) realizadas en la primavera de 2011, y la situación del stock estimada a

partir de las campañas acústicas realizadas en años anteriores, se deriva que el stock de sardina ha experimentado una contracción gradual en lo que a su distribución espacial se refiere, la cual corre en paralelo con el decrecimiento observado en su tamaño, tanto en términos de abundancia como de biomasa. En agua españolas, se aprecia además una concentración de los individuos que componente el stock remanente en la zona costera, lo cual lleva aparejada una mayor vulnerabilidad a la pesca que puede explicar además porqué las capturas de sardina no han descendido en 2010 a pesar de hacerlo la abundancia. En 2011, los pescadores han mostrado su preocupación por la escasez de las capturas en Galicia durante el primer trimestre del año, hecho que se ha reflejado en la venta en lonja.

La situación de la anchoa es menos preocupante. Aunque las campañas acústicas PELACUS son un indicador relativo del estado del stock de anchoa, dado que cubren parcialmente el área de distribución del stock de esta especie, proporcionan información relevante relativa a la distribución del stock y de sus fluctuaciones en términos de abundancia y biomasa. Desde el año 2009, se ha apreciado un incremento en el número de peces adultos y huevos así como en la extensión del área de distribución. El efecto del cierre de la pesquería resulta aparente en los resultados de las campañas de evaluación, que han visto incrementada tanto el volumen como la aparición de individuos de mayor edad en las capturas (Figura 16). Los resultados de la campaña del 2011 indican que ha tenido lugar un buen reclutamiento en 2010, con un porcentaje elevado de individuos de 1 año de edad.

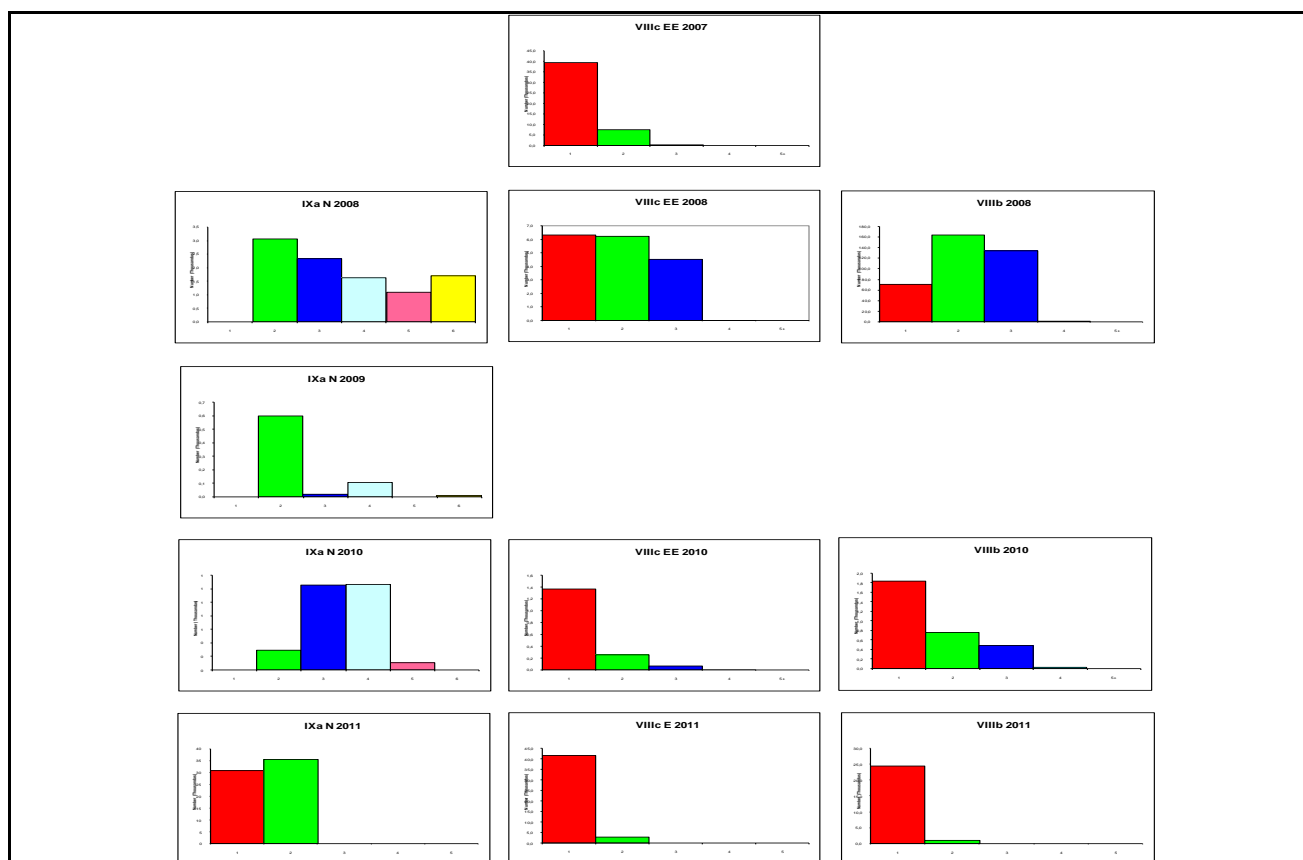


Figura 16. Abundancia para distintas clases de edad (cada marca en el eje de las x de cada figura se corresponde con edades comprendidas entre 0 –juveniles, y 5 años) durante las campañas PELACUS realizadas entre 2007 y 2011.

Agradecimientos

Los autores del informe están sinceramente agradecidos a todos los participantes que han tomado parte en la campaña PELACUS0411 y a la tripulación del BO Thalassa en la que ésta se llevo a cabo.

Referencias

Anon., 2006. Report of the Working Group on the Assessment of Mackerel, Horse Mackerel, Sardine, and Anchovy. ICES CM 2006/ ACFM: XX.

Carrera, P. and Porteiro, C. 2003. Stock dynamics of the Iberian sardine (*Sardina pilchardus*, W.) and its implication on the fishery off Galicia (NW Spain). *Sci. Mar.* 67, 245-258.

Foote, K.G., Knudsen, H.P., Vestnes, G., MacLennan, D.N. and Simmonds, E.J. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. ICES Coop. Res. Rep. 144, 57 pp.

Iglesias, M., Santos, M.B., Bernal, M., Miquel, J., Oñate, D., Porteiro, C., Villamor, B. and Riveiro, I., 2010. Sardine and anchovy in Galicia and Cantabrian waters: results from the Spanish spring acoustic survey PELACUS0410. Working document for WGANSa 24-28/069/2010, Lisbon, 24 pp.

MacLennan, D.N., Fernández, P.G. and Dalen, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES J. Mar. Sci.* 59, 365-9.

Marques, V., Silva, A., Angélico, M. M., Dominguez, R. and Soares, E. 2010. Sardine acoustic survey carried out in April 2010 off the Portuguese Continental Waters and Gulf of Cadiz, onboard RV “Noruega”. WD presented at the WG on Anchovy and Sardine, Lisbon, 24-28 June 2010, 10 pp.

Procesos costeros y su influencia en la distribución de huevos y larvas de sardina y anchoa en los estuarios del Nalón y Villaviciosa durante primavera-verano de 2010.

Resumen

Uno de los objetivos del proyecto EcoAnchoa-Asturias era estudiar la influencia de los procesos costeros en la distribución de huevos y larvas de sardina y anchoa. Para ello se realizaron en el año 2010 una serie de muestreos en las zonas estuárica y costera del Nalón y Villaviciosa, en bajamar y pleamar de tres periodos del ciclo anual de producción: proliferación de primavera (mayo), estratificación térmica estival (julio), proliferación de otoño (septiembre) (Campañas EcoAnchoa0510, 0710 y 0910 respectivamente). Estas fases comprenden el periodo de puesta de la mayor parte de especies pelágicas, incluidas la anchoa y sardina.

Se apreció un marcado contraste en la distribución de propiedades termohalinas, biogeoquímicas y distribuciones de ictioplancton en la zona de estudio (i.e. Cantábrico Central) entre los diferentes periodos del ciclo anual de estratificación-mezcla y producción biológica e intensidad de puesta de las especies objetivo. Para un mismo periodo del ciclo anual, se apreciaron diferencias espaciales significativas en la distribución de propiedades termohalinas, biogeoquímicas y distribuciones de ictioplancton entre las zonas del Nalón y Villaviciosa. Se observaron en ambos casos, cambios significativos en la distribución de dichas propiedades entre la bajamar y la pleamar. La variabilidad espacial de las propiedades resultó en general más acusada en el estuario y zona costera del Nalón que en Villaviciosa. Estas diferencias se relacionan con el mayor caudal de agua dulce aportado por el estuario del Nalón. Además de la mayor incidencia de la pluma en la zona costera adyacente del Nalón, la intensificación de procesos costeros al oeste de Cabo Peñas, tales como el afloramiento, hacen que la variabilidad en la zona costera y de plataforma en esta zona sea superior a la observada en la zona de Villaviciosa. En ambos casos, el aporte de agua de menor salinidad procedente del estuario se aprecia fundamentalmente en una capa muy somera, por encima de los 3 m de profundidad. Su efecto, sin embargo, puede ser apreciable hasta las proximidades del Cabo Peñas en el caso de la pluma procedente del Nalón. Tanto en los estuarios del Nalón como Villaviciosa, se apreció una importante variación de las propiedades entre la bocana y la zona media-interna del estuario. En general, la intensidad del gradiente salino es menor en pleamar que en bajamar. En algunas situaciones se aprecia la formación de una zona de máximo gradiente en la bocana, p. ej. en el Nalón en mayo. La abundancia observada en las distintas épocas del año en las que se llevó a cabo el muestreo (mayo, julio y septiembre), coinciden con el patrón temporal de puesta de ambas especies en la zona. Las plumas asociadas a ambos estuarios durante la marea baja, cuando se observan los valores más bajos de salinidad, presentan en general valores bajos de huevos y larvas de ambas especies. Esto sugiere que tanto sardina como anchoa evitan realizar la puesta directamente sobre las plumas de los ríos. Sin embargo sí existe una mayor abundancia de huevos y larvas de estas especies en las zonas frontales asociadas a las plumas. La mayor abundancia de huevos de anchoa en los estuarios, sobre todo durante la pleamar, sugiere que la estrategia de puesta de esta especie tiende a favorecer su advección hacia el interior de los mismos.

Introducción

La puesta de la anchoa en el Cantábrico se ha asociado tradicionalmente a las pequeñas plumas de los ríos de la zona (Motos et al. 1996), aunque no se han presentado nunca evidencias concluyentes al respecto. El primero de los objetivos de este estudio es comprobar si existe una relación directa entre la presencia de huevos de anchoa y las plumas de ríos e investigar la naturaleza de dicha relación. Por ejemplo, si la intensidad de la puesta se relaciona con las características físicas de la pluma y por tanto con el nivel de descargas del río que la alimenta. Por otro lado, se sabe que en otras zonas como el Golfo de Cádiz, los estuarios son el hábitat principal de esta especie durante la fase juvenil (entre los 4 y 7 meses de vida) (Drake et al, 2007). Otro de los objetivos es determinar si la posible presencia de huevos y larvas de esta especie en los estuarios cantábricos sugiere que la puesta en la zona de influencia de las plumas favorece su advección hacia los estuarios.

Para el caso de la sardina, aunque en otras zonas se ha observado la presencia de juveniles en zonas estuáricas, nunca se ha propuesto que una relación entre el reclutamiento de la especie y su presencia en los mismos, y las hipótesis a cerca del reclutamiento de esta especie siempre han estado asociadas a otro tipo de fenómenos costeros como el afloramiento o la Corriente Polar Ibérica (López-Jamar et al., 1995; Guisande et al., 2001; González-Quirós et al., 2004; Santos et al. 2007). El análisis comparativo de ambas especies nos permitirá evaluar mejor si la diferente estrategia de puesta de una y otra especie favorece más o menos la advección de huevos y larvas hacia el interior de los estuarios.

Para estudiar estas hipótesis se seleccionaron dos de los estuarios más importantes en la costa asturiana (Nalón y Villaviciosa), aunque con características diferentes sobre todo en cuanto al aporte fluvial asociado. Además, el mismo esquema de muestreo se ha repetido en tres épocas del año (mayo, julio y septiembre) ocasiones que en las que a priori se esperan situaciones diferentes de alta y baja intensidad de las dos especies objetivo según el patrón temporal descrito para la zona (Rodríguez, 2008): en mayo, elevada intensidad de sardina y baja de anchoa; en julio: baja intensidad de sardina y alta de anchoa; y en septiembre: baja intensidad de ambas. A su vez, en cada uno de estos casos el esquema de muestreo se repitió durante la marea baja y la marea alta con el objetivo de analizar por un lado la relación entre la dinámica de la pluma y la abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoa, y por otro las diferencias entre marea alta y baja dentro de los estuarios que se relacionen con procesos advectivos asociados al flujo mareal.

Referencias:

- Drake P, Borlán A, González-Ortegón E, Baldó F, Vilas C, Fernández-Delgado C (2007) Spatio-temporal distribution of early life stages of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* L. within a European temperate estuary with regulated freshwater inflow: effects of environmental variables. *Journal of Fish Biology* 70: 1689-1709.
- González-Quirós R, Pascual A, Gomis D, Anadón R (2004) Influence of mesoscale physical forcing on trophic pathways and fish larvae retention in the central Cantabrian Sea. *Fisheries Oceanography* 13: 351-364.
- Guisande C, Cabanas JM, Vergara AR, Riveiro I (2001) Effect of climate on recruitment success of Atlantic Iberian sardine *Sardina pilchardus*. *Marine Ecology Progress Series* 223: 243-250.
- López-Jamar E, Coombs SH, García A, Halliday NC, Knust R, Nellen W (1995) The distribution and survival of larvae of sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) off the north and north-western Atlantic coast of the Iberian Peninsula, in relation to environmental conditions. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 11: 27-46.
- Motos L, Uriarte A, Valencia V (1996) The spawning environment of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.). *Scientia Marina* 60: 117-140.

- Rodriguez JM (2008) Temporal and cross-shelf distribution of ichthyoplankton in the central Cantabrian Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79: 496-506.
- Santos AMP, Chácharo A, Dos Santos A, Miota T, Oliveira PB, Peliz A, Ré P (2007) Physical-biological interactions in the life history of small pelagic fish in the Western Iberia Upwelling Ecosystem. *Progress in Oceanography* 74: 192-20.

Material y Métodos

Lugar de estudio y estrategia de muestreo

En mayo, julio y septiembre de 2010 se llevaron a cabo a bordo del B/O José de Rioja una serie de campañas oceanográficas de 8-10 días de duración en las zonas estuárica y costera adyacente (hasta la isóbata de 100 m) de los estuarios del Nalón y Villaviciosa. Se eligieron estos dos estuarios por ser dos de los mayores en la costa asturiana y por presentar importantes diferencias en el aporte de los ríos asociados; el Nalón es el río más caudaloso del Cantábrico mientras que en la ría de Villaviciosa desembocan ríos de caudal muy bajo. La zona de muestreo se definió con el objetivo de caracterizar la variabilidad de las condiciones hidrográficas y de las distribuciones de diferentes componentes del plancton, incluyendo huevos y larvas de peces (ictioplancton), y en particular de anchoa y sardina, a lo largo del gradiente existente entre las zonas media del estuario y de la plataforma continental (Figura 1). Las campañas se realizaron en distintas fases de los ciclos de marea (pleamar y bajamar) y en diferentes periodos del ciclo anual de estratificación-mezcla, producción biológica y de intensidad de la puesta de sardina y anchoa: progresión de la termoclina estacional, proliferación de primavera y alta intensidad de puesta de sardina (18-26 de mayo, EcoAnchoa-AS0510); estratificación térmica estival, limitación de la producción primaria por nutrientes y alta intensidad de puesta de anchoa y baja de sardina (19-26 de julio, EcoAnchoa-AS0710); inicio de la de-estratificación, proliferación de otoño y baja intensidad de puesta de anchoa y principio del segundo periodo de puesta de sardina (14-23 de septiembre, EcoAnchoa-AS0910) (Figura 1).



Figura 1. Localización de las estaciones hidrográficas de muestreo en la zona costera (puntos verdes) y estuárica (puntos rojos) en (a) Nalón y (b) Villaviciosa. En el caso del Nalón se muestra también la posición del fondeo de la boya perfiladora AMP (primera estación del transecto costa-océano).

La caracterización de las condiciones hidrográficas se llevó a cabo combinando tres estrategias de observación: 1) perfiles en una malla de estaciones de muestreo localizadas en los estuarios del Nalón y Villaviciosa y sus entornos costeros; 2) perfiles en continuo con un sistema automático de perfilación localizado en una estación fija sita en las proximidades de la bocana del estuario del Nalón; y 3) muestreo en continuo en superficie (entre 0.7 y 2 m de profundidad) en los tránsitos realizados durante las campañas (Figura 2). La combinación de estas tres estrategias permitió analizar la variabilidad hidrográfica y la dinámica de procesos costeros, tales como el ciclo diurno de la capa de mezcla, el de marea, las plumas asociados a las desembocaduras de los estuarios, frentes termohalinos y eventos de afloramiento costero, en el rango de escalas espacial y temporal comprendido entre micro- y meso-escalas (horas-semana / cm-km).



Figura 2. B. O. José de Rioja utilizado durante las campañas, imagen de la boya perfiladora AMP realizando un perfil y ejemplo de registro de los valores de temperatura superficial mediante el registrador en continuo instalado a bordo del B. O. José de Rioja.

El muestreo en la malla de estaciones se realizó mediante un sistema integrado, compuesto por sondas automáticas para la medida de perfiles de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia en la columna de agua (CTD SeaBird SBE25 con fluorímetro Sea Point de WET Labs y oxímetro SeaBird SBE43), y botellas oceanográficas tipo Niskin (General Oceanics) para la recogida de muestras a distintas profundidades. Los perfiles se realizaron entre la superficie (ca. 1 m) y 5 m de profundidad por encima del fondo. Se recogieron muestras para la determinación de la concentración de nutrientes inorgánicos (amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicatos) y la concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofila total y clorofilas *a*, *b* y *c*). En una serie de puntos de la malla de muestreo se realizaron arrastres horizontales en superficie (ca. 1 m de profundidad) mediante una red de plancton wp2 de 57 cm de diámetro con malla de 200 μm de tamaño de poro para la recogida de muestras de mesozooplankton (200-2000 μm) e ictioplankton. Las estaciones de muestreo de cada una de las zonas (Nalón y Villaviciosa) se visitaron durante la pleamar y la bajamar.

Durante las campañas se realizaron perfiles en continuo, a intervalos comprendidos entre 30 y 120 minutos, en una estación fija localizada en las proximidades de la bocana del estuario del Nalón (43°36.60'N, 06°02.10'O; a una distancia aproximada de 1 milla náutica al este de la bocana; profundidad en bajamar 55 m). Se utilizó un sistema de perfilación autónoma ('Autonomous Mooring Profiler', AMP) (Figura 2), equipado con sensores para la medición de profundidad, salinidad, temperatura, fluorescencia y turbidez (sensores: SeaBird SBE 49 para salinidad y temperatura; EcoFLNT de WET Labs para fluorescencia y turbidez). El AMP se mantuvo operativo aproximadamente entre el inicio y final de cada campaña, realizándose visitas cada 1-2 días para comprobar las condiciones del fondeo y verificar el funcionamiento del equipo (p.ej. estado de la batería, descarga por radio de perfiles y su chequeo) y cambiar, eventualmente, el intervalo de muestreo en función de las condiciones de carga de la batería y el pronóstico meteorológico.

En los tránsitos realizados por el B.O. José de Rioja se adquirieron datos en continuo en superficie (*z* entre 0.7-2 m) de salinidad y temperatura mediante termosalinógrafo (SeaBird SBE21) y de fluorescencia (FluoroProbe). Los tránsitos abarcaron el trayecto entre el puerto base del buque (Santander) y el inicio de las campañas (Gijón) y, durante las campañas, entre las estaciones de la malla de muestreo y los puertos de Cudillero (Nalón), Gijón y Lastres (Villaviciosa). En el estuario del Nalón, el muestreo en continuo entre la bocana y la parte media del estuario (*z* en marea alta = 1.5 m) se realizó a bordo del B.O. de Rioja. En el estuario de Villaviciosa, se contrató una embarcación de menor calado y se adaptó un CTD SeaBird SBE19 para el registro en continuo de las citadas variables entre la bocana y la parte interna del estuario dependiendo del coeficiente de la marea (hasta las instalaciones de la fábrica de 'El Gaitero' durante la marea alta del muestreo de septiembre).

Métodos analíticos

Las variables registradas mediante sensores automáticos (salinidad, temperatura, fluorescencia y oxígeno disuelto) se procesaron siguiendo protocolos estándar, que incluyen controles de calidad de las observaciones obtenidas (p. ej. chequeo de picos y de inversiones de densidad, alineado de los registros de los diferentes sensores, etc.) y promediado a intervalos de profundidad (perfiles verticales) o distancia (registradores en continuo durante trayectos) predefinidos en función de la tasa de adquisición de cada uno de los sensores (p.ej. a 12 Hz con una velocidad de ascenso de aprox. $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para el CTD SBE25 acoplado a la roseta, o 1 Hz para el SBE49 del AMP, con una velocidad de ascenso comprendida entre $0.08\text{-}0.30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). El chequeo y representación de los datos procesados se llevó a cabo mediante una serie de rutinas informáticas implementadas en MATLAB, y que incluyen una serie de algoritmos para, por ejemplo, eliminación de valores extremos, cálculo de capa de mezcla o representación de los resultados mediante métodos de interpolación objetiva. Para la representación de los resultados de los perfiles adquiridos en la malla de estaciones se utilizó el programa informático SURFER, utilizando el método de kriging como técnica de interpolación.

Las muestras de agua obtenidas mediante las botellas oceanográficas se destinaron a la determinación de la concentración de nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicato) (μM), y concentración de pigmentos fotosintéticos (concentración de clorofila total y clorofilas *a*, *b* y *c*) ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Las concentraciones de nutrientes se analizaron mediante análisis replicado en flujo segmentado utilizando un auto-analizador Skalar San Plus System. Las muestras de agua destinadas al análisis de la concentración de clorofila se recogieron de la botella oceanográfica en frascos opacos para evitar la fotodegradación de los pigmentos. Para cada muestra, se filtraron a bordo 100 ml a baja presión de vacío ($<100 \text{ mm Hg}$) a través de filtros de Milipore de fibra de vidrio (GFF) de $0.8 \mu\text{m}$ de tamaño nominal de poro. Los filtros se mantuvieron congelados hasta su análisis posterior en laboratorio. La clorofila se extrajo con acetona al 90% durante 24 h a 4°C . Las concentraciones de clorofila *a*, *b* y *c* se midieron mediante un espectrofluorímetro Perkin Elmer LB-50s. La concentración de clorofila total se estimó a partir de la suma de los tres tipos de clorofila analizados. Las medidas de fluorescencia (F) obtenidas con el fluorímetro acoplado al CTD SBE25 son un indicador de la concentración de clorofila, proxy de la biomasa de fitoplancton. Los valores obtenidos en las diferentes campañas se escalaron a efectos de poder compararlos entre sí y se dan en unidades relativas (u.r.) de fluorescencia.

Las muestras de plancton obtenidas mediante pescas horizontales en superficie con red de $200 \mu\text{m}$ de malla se recogieron en frascos de 500 ml, fijándose con formol al 4% tamponado con borax. Una vez en el laboratorio, se trió entre 1/8 y la totalidad de la muestra para proceder al recuento mediante lupa binocular estereoscópica de los huevos y larvas de sardina, anchoa y otras especies de peces.

Resultados

Los presentación de resultados se ha organizado teniendo en cuenta los diferentes momentos del ciclo estacional de estratificación-mezcla, producción biológica e intensidad de puesta de especies obetivo (mayo, M; julio, J; septiembre, S), estado de la marea (bajamar, B; pleamar, P) y localizaciones (zonas estuáricas y costeras de los estuarios del Nalón y Villaviciosa; N y V respectivamente). Se ha considerado asimismo la información que se obtiene combinando los resultados de las tres estrategias de muestreo (en malla, perfiles continuos en estación fija y adquisición en continuo durante trayectos).

Mayo

La distribución superficial de salinidad en la zona de estudio presentó un amplio rango de variación, con valores comprendidos entre <33 y 35 (Figura 3). En contraste, la temperatura superficial mostró un estrecho rango de variación (13-15 °C), siendo los valores registrados los más bajos de los tres periodos del año analizados. La secuencia de las operaciones llevadas a cabo durante la campaña de Mayo (EcoAnchoa-AS0510) queda reflejada en la serie diaria de tránsitos realizados por el B.O. José de Rioja (Figura 4)¹. Los valores más bajos de salinidad se registraron en el interior y zona costera de los estuarios del Nalón y Villaviciosa. La pluma del Nalón dio lugar a la formación de un marcado frente halino situado a varios km de la bocana. Se apreció además que la posición de la pluma fue más costera en pleamar (día 24) que en bajamar (día 25), si bien su influencia se percibió hasta Cabo Peñas. En Villaviciosa, la zona de influencia de la pluma se limitó a las proximidades de la bocana del estuario.

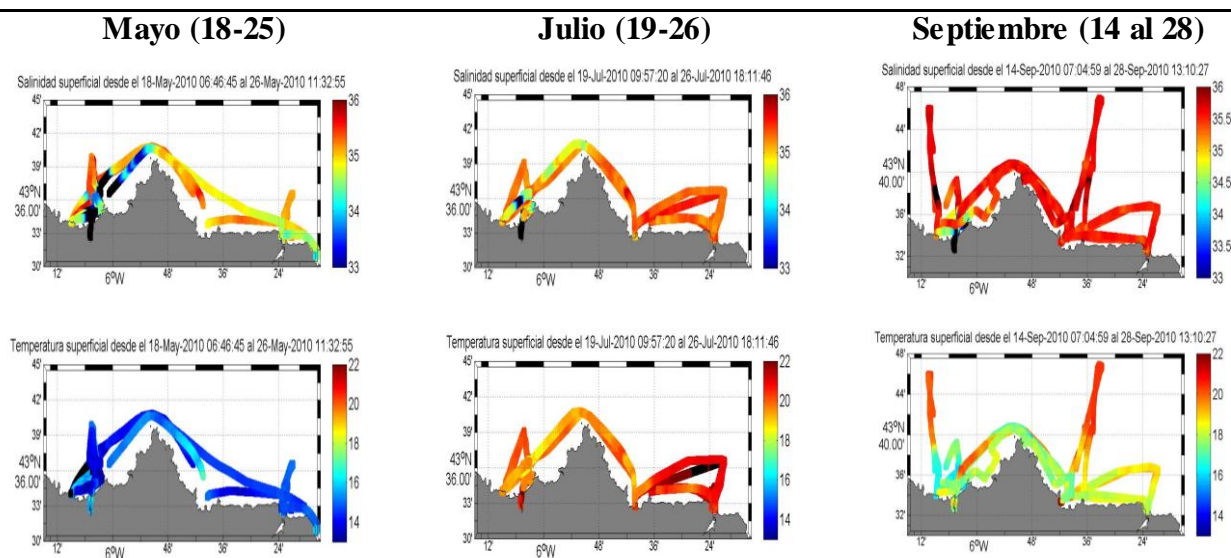
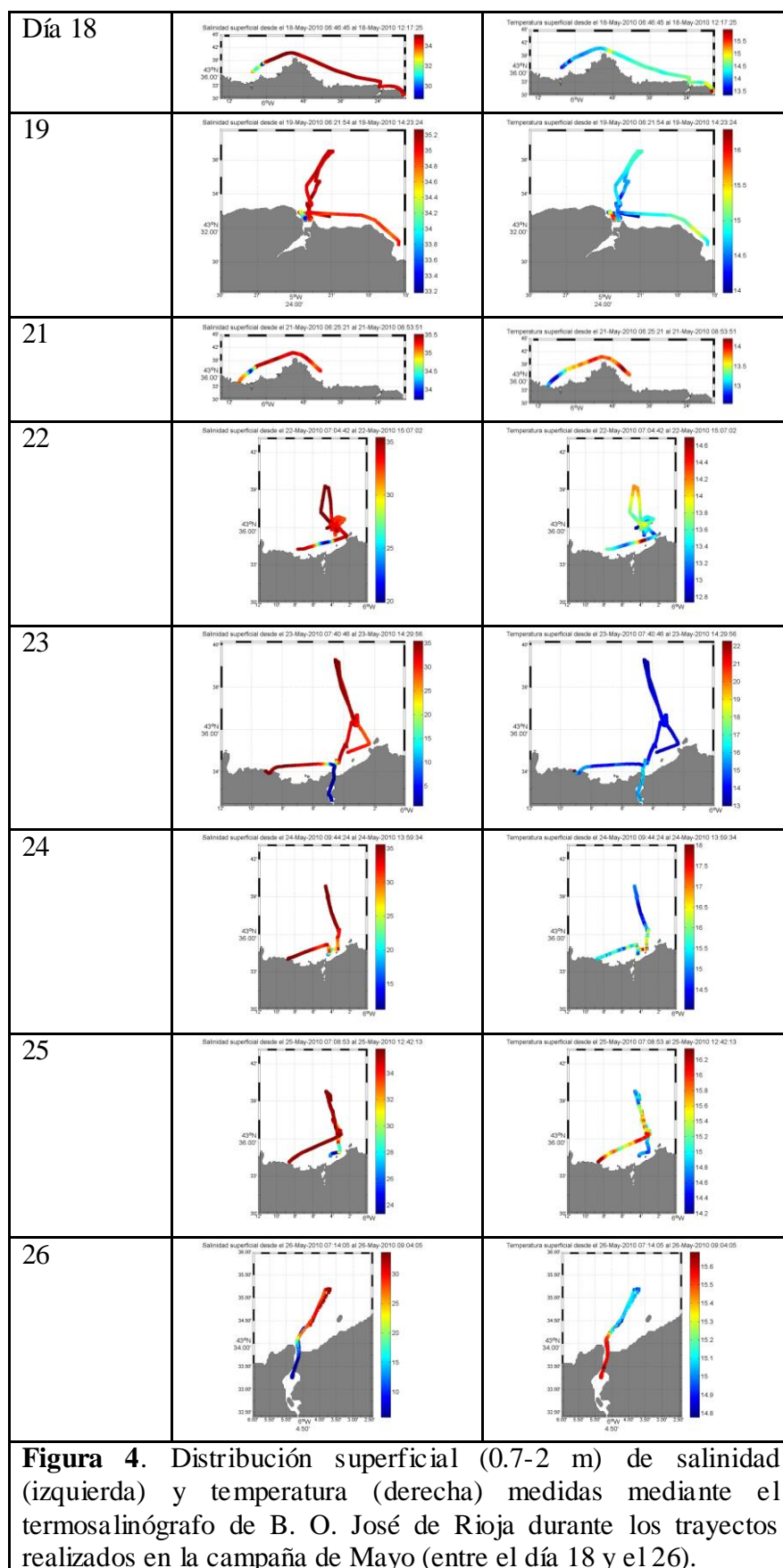


Figura 3. Variación estacional de los valores superficiales (entre 0.7 y 2 m) de salinidad (arriba) y temperatura (abajo) medidos durante todos los trayectos realizados por el B.O. José de Rioja en las campañas de Mayo, Julio y Septiembre. Nótese que el rango de las escalas de salinidad y temperatura son las mismas para los tres periodos del año. Lo valores de salinidad en color negro (en todos los periodos en las proximidades de la desembocadura del Nalón) se corresponden con valores por debajo del mínimo de la escala. En el caso de la temperatura, los valores en negro se corresponden con medidas por encima del valor de la escala (en la zona costera próxima a Villaviciosa en Julio)

¹ En la secuencia de operaciones relativas a las campañas de Mayo, Julio y Septiembre (Figuras 4, 15 y ## respectivamente) se incluyen únicamente aquéllas realizadas a bordo del B.O. José de Rioja, y no incluye por lo tanto los muestreos realizados con una embarcación diferente en el estuario de Villaviciosa.



La variabilidad hidrográfica a lo largo del transecto entre la costa ($z = 15$ m) y la parte media de la plataforma ($z = 70$ m) en la zona del Nalón durante la bajamar se muestra en la Figura 5a-b (día 25, 07:30 GMT). La distribución de temperatura (Figura 5a) evidencia una incipiente estratificación térmica, con un gradiente térmico de aproximadamente $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los primeros 10 m de la columna de agua. La distribución de salinidad muestra la presencia de una pluma somera, de unos 5 m de profundidad, que se extendió unos 5 km mar adentro (distancia relativa a la estación más costera). Los valores de fluorescencia (proxy de la biomasa de fitoplancton) fueron relativamente elevados a lo largo del transecto, y presentaron una distribución más superficial en el extremo costero que en el oceánico. La concentración de oxígeno disuelto fue similar a la distribución de fluorescencia, presentando un marcado gradiente vertical, con valores entorno a 6 ppm ($\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$) en la capa superficial ($z < 20$ m), en la que tiene lugar el grueso de la producción primaria, y valores en tono a 5 ppm cerca del fondo.

La concentración de nutrientes (Figura 5b) refleja la incidencia de los distintos procesos hidrográficos y biológicos (i. e. consumo por parte de los productores primarios y remineralización de la materia orgánica). En las estaciones más costeras del transecto se apreció la influencia de los aportes de nutrientes asociados a la pluma, siendo más evidente ésta para el silicato. En contraste, las concentraciones de nutrientes en las aguas superficiales de plataforma fueron inferiores. El contraste entre el extremo costero y el oceánico dio lugar a la formación de un marcado gradiente a lo largo del transecto, que tiene también su en la profundidad de la clina (zona de cambio máximo en el gradiente vertical). Así por ejemplo, la nitraclina (como referencia se consideró el valor de la isoclina de concentración de nitrato de $2\text{ }\mu\text{M}$) se localizó, respectivamente, a 5 y 20 metros de profundidad a distancias de 2 y 8 km del inicio del transecto. La distribución de amonio presentó características diferenciadas respecto a los otros nutrientes. El gradiente vertical no fue tan marcado y las concentraciones más elevadas se registraron en superficie asociadas a la pluma, y en el fondo, cerca del lecho submarino, lo cual, unido a los bajos valores relativos de oxígeno en esta zona (Figura 5a), indica la incidencia de procesos de regeneración de la materia orgánica sedimentada.

Las condiciones hidrográficas observadas en la pleamar Figura 6a (día 24; 10:00 GMT) fueron similares a las que se observaron durante la bajamar. Las principales diferencias que se aprecian, y que se deben a la influencia del agua costera y de plataforma, son: menor intensidad del gradiente térmico vertical; disminución de la influencia de la pluma, si bien ésta siguió siendo apreciable 5 km mar adentro respecto a la estación más costera; disminución y redistribución de la biomasa de fitoplancton (en u. r. de fluorescencia), que alcanzó los valores más elevados asociados al frente de la pluma; disminución de la concentración de oxígeno, especialmente apreciable en el fondo. En cuanto a las concentraciones de nutrientes, las principales diferencias se observaron para el amonio, que presentó una disminución de los valores en el fondo cerca del lecho submarino y un incremento de los valores en superficie, y para el silicato, que presentó valores relativamente elevados en superficie hacia la mitad del transecto.

La variación temporal de las condiciones hidrográficas registradas por la boya perfiladora (AMP) en las proximidades del Nalón entre el 22 y el 25 de mayo ilustran el dinamismo del sistema (Figura 7). En los primeros días de fondeo se apreció la influencia de la pluma, limitada a los primeros 5 m de la columna de agua. Esta influencia fue perceptible no sólo en los registros de salinidad, sino también en los de temperatura y materia en suspensión (i. e. transmitancia), que fueron relativamente más elevados en la pluma. A partir del día 24 se apreció un significativo calentamiento de la capa superficial. Este hecho, unido al repentino y fuerte incremento de los niveles fluorescencia registrados, sugiere que tuvo lugar un proceso de advección de agua oceánica hacia la costa hacia el final del periodo muestreado.

La abundancia de huevos de sardina en bajamar (Figura 5a) fue muy inferior a la observada en la pleamar (Figura 6a), alcanzando un máximo de $12.5\text{ huevos}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación de muestreo

localizada en la zona frontal de la pluma. Los huevos de anchoa fueron menos abundantes que los de sardina, si bien presentaron un patrón de distribución a lo largo del transecto y diferencias bajamar-pleamar similares. La abundancia de larvas de sardina durante la bajamar y la pleamar siguió un patrón contrario al de distribución de huevos, observándose los valores de concentración más elevados en la bajamar ($4.4 \text{ larvas} \cdot \text{m}^{-3}$), si bien éstos, como en bajamar, se localizaron también en la zona frontal de la pluma. No se observó presencia de larvas de anchoa. En cuanto a la distribución de huevos de otras especies de peces durante la bajamar (Figura 5b), ésta alcanzó valores más elevados en el extremo costero del transecto. Durante la pleamar, la distribución a lo largo del transecto fue más homogénea (Figura 6b). La abundancia de larvas de otras especies fue similar a lo largo del transecto, ligeramente superior en la bajamar. La importante diferencia de abundancia de huevos de sardina entre el transecto de marea baja y la de marea alta podría ser consecuencia de la advección de agua oceánica con temperatura más alta que se observa durante el muestreo de bajamar (realizado un día después que el del transecto de pleamar). La sardina realiza la puesta sobre aguas costeras relativamente frías y mezcladas. A medida que se produce la estratificación de la columna de agua durante el ciclo anual, en la transición primavera-verano, esta especie reduce la intensidad de la puesta hasta mínimos en verano. El agua oceánica advectada, más calida y estratificada, presentó una menor abundancia de huevos que estaría relacionada con una menor intensidad de la puesta en esta masa de agua.

La variabilidad de las condiciones hidrográficas y las distribuciones de ictioplancton entre la zona costera adyacente a la bocana (aprox. a unos 0.5 km de ésta) y el interior del estuario del Nalón (ca. hasta el final del espigón de la entrada del puerto de Muros del Nalón en bajamar, y el primer recodo del río, frente a El Castillo, en pleamar) se muestran en las Figuras 8 y 9 para las situaciones de bajamar y pleamar respectivamente. Durante la bajamar (Figura 8), la temperatura y salinidad presentaron un marcado contraste entre la zona costera próxima a la bocana, con valores de unos 15 °C y entre 29.0 y 33.7 respectivamente, y la zona interna, con valores en torno a 15.6 °C y entre 5.7 y 10.4. La zona de máximo gradiente se localizó a la altura de la bocana (aprox. en 43.575°N). Durante la pleamar (Figura 9), los valores de temperatura disminuyeron significativamente en la parte externa, entre 13.4 y 13.9, y los de salinidad se mantuvieron aproximadamente en el mismo rango que en bajamar, entre 28.0 y 33.4. El máximo gradiente se mantuvo a la altura de la bocana, si bien intensificado: la temperatura y salinidad pasaron de ca. 13.6 °C y 30 en el margen exterior a ca. 16 ° y 6 en la parte interior.

La distribución de ictioplancton mostró marcadas diferencias entre la bajamar y la pleamar. No se detectaron apenas huevos y larvas de sardina durante la bajamar (Figura 8a), y sí durante la pleamar, en todas las estaciones muestreadas excepto en la más interna del estuario (Figura 9a). La distribución de huevos presentó un máximo en la zona exterior, mientras que la de larvas fue más homogénea. No se detectaron huevos y larvas de anchoa durante la bajamar, y sí huevos durante la pleamar en la zona de máximo gradiente, si bien a baja concentración (Figura 9b), coincidiendo con las bajas concentraciones de huevos de esta especie observadas en la zona costera próxima a la desembocadura del Nalón (Figuras 5a y 6a). En cuanto a otras especies, en bajamar se observaron huevos en los extremos de transecto y larvas preferentemente en la parte más interna (Figura 8b), mientras que durante la pleamar (Figura 9c), se incrementó la abundancia de huevos, distribuidos preferentemente en la parte exterior y de máximo gradiente y disminuyó la de larvas.

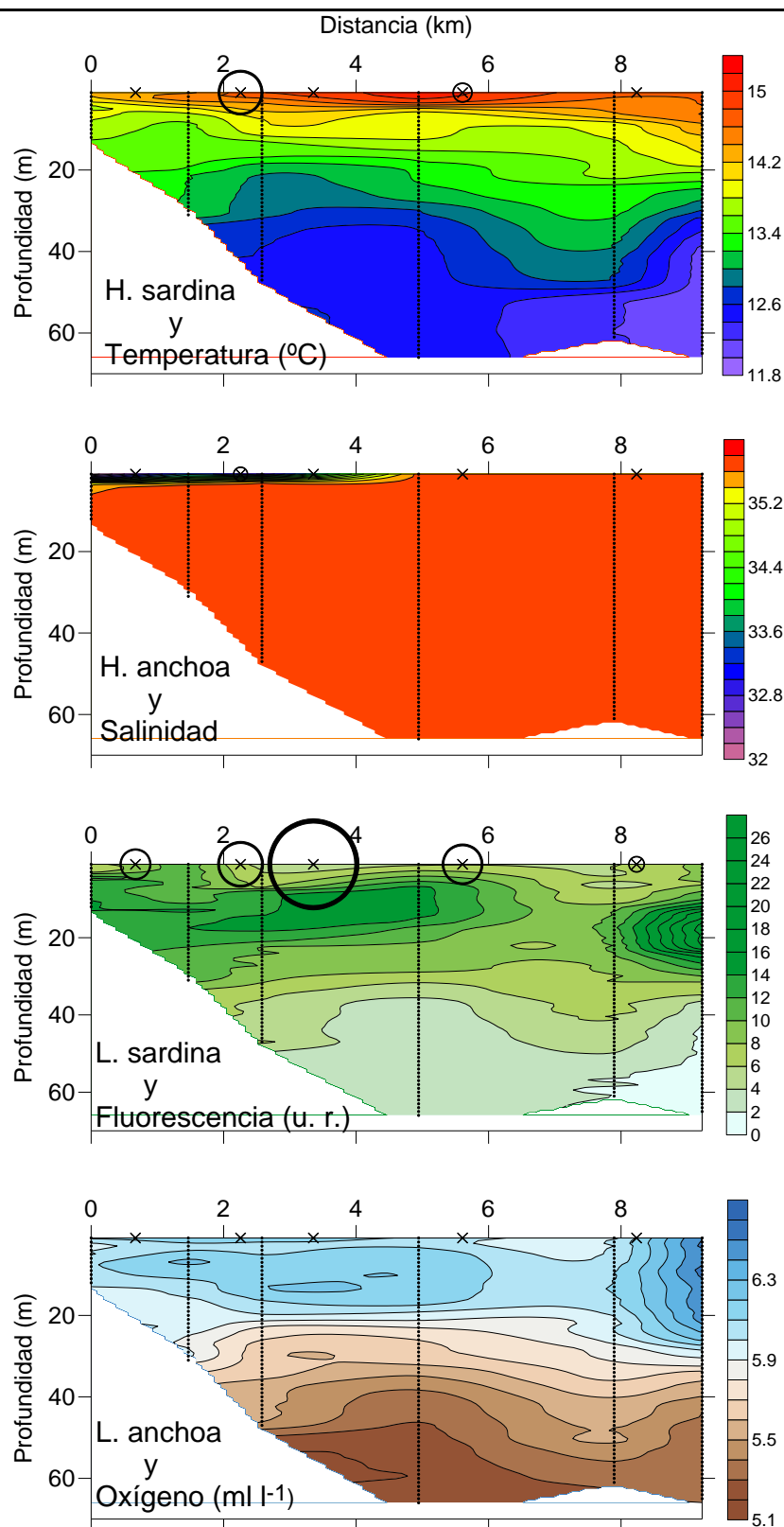


Figura 5a. Distribución vertical de temperatura, salinidad, fluorescencia (u. r., unidades relativas) y concentración de oxígeno a lo largo de un transecto costa-océano frente a la desembocadura del Nalón durante la bajamar en el mes de mayo. Además se representa la abundancia (individuos m⁻³; círculos) de huevos (H.) y larvas (L.) de sardina y anchoa en la capa superficial de agua (a ~1 m de profundidad). Las líneas de puntos representan los perfiles de la sonda CTD. Las aspas indican la posición de las pescas y el área de cada círculo es proporcional a la abundancia de huevos o larvas. La

abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 4,4 larvas de sardina por m^3

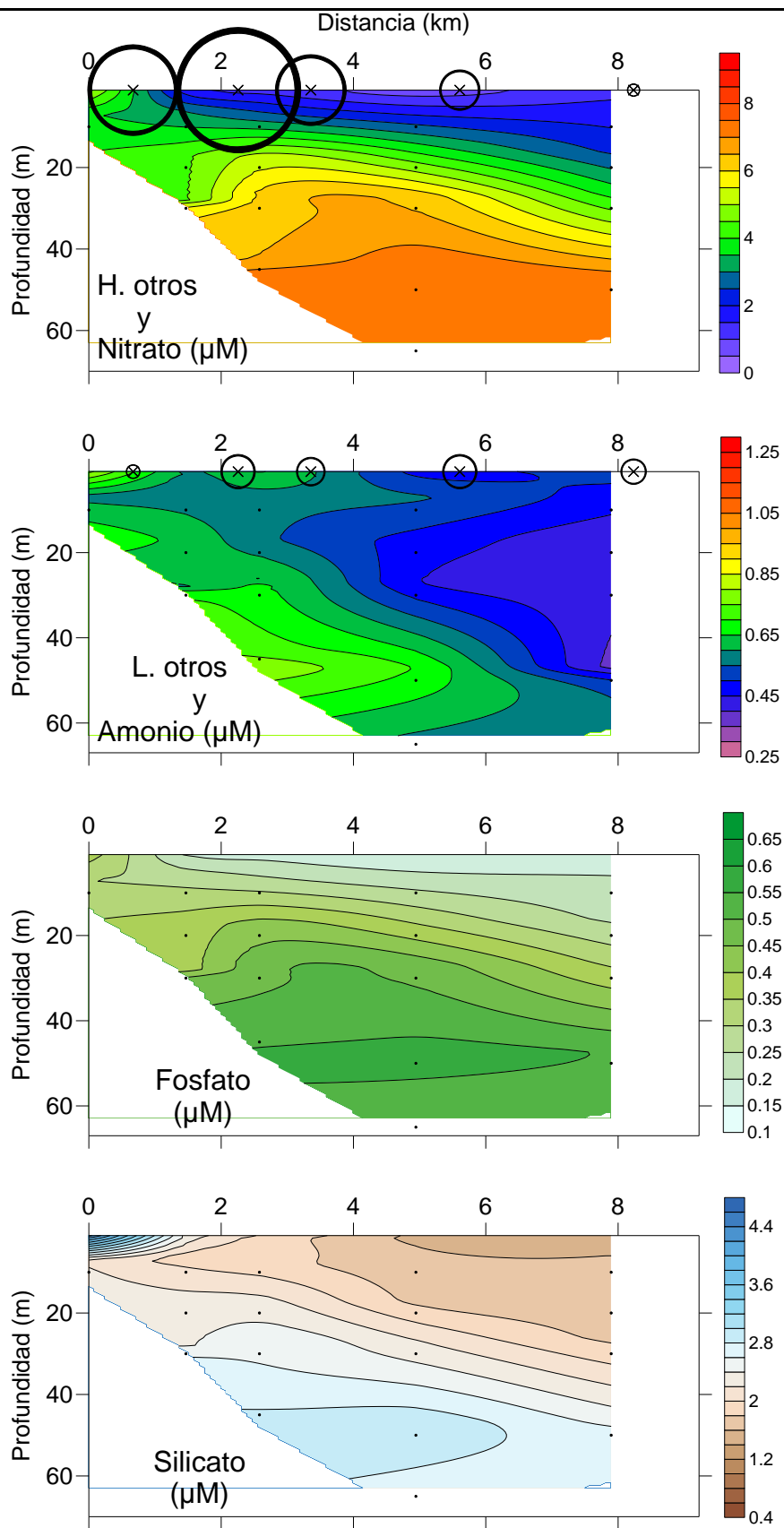


Figura 5b. Mismo transecto que en la figura 5a (Nalón – bajamar – mayo) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton corresponde a 125 huevos de otras especies por m^3 .

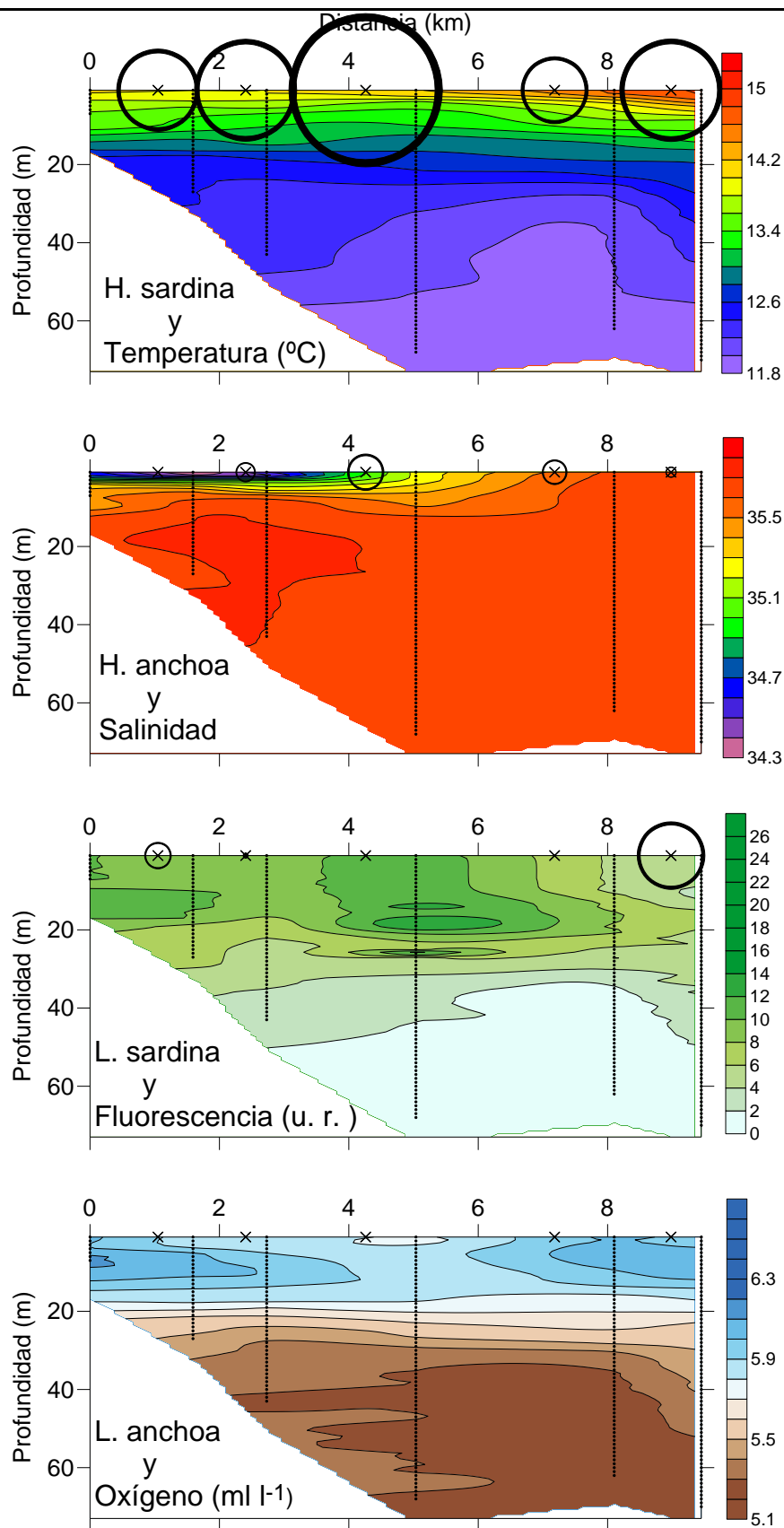


Figura 6a. Transecto costa-océano frente a la desembocadura del Nalón durante la pleamar en el mes de mayo. Se representan las mismas variables que en la figura 1a. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 12,5 huevos de sardina por m³.

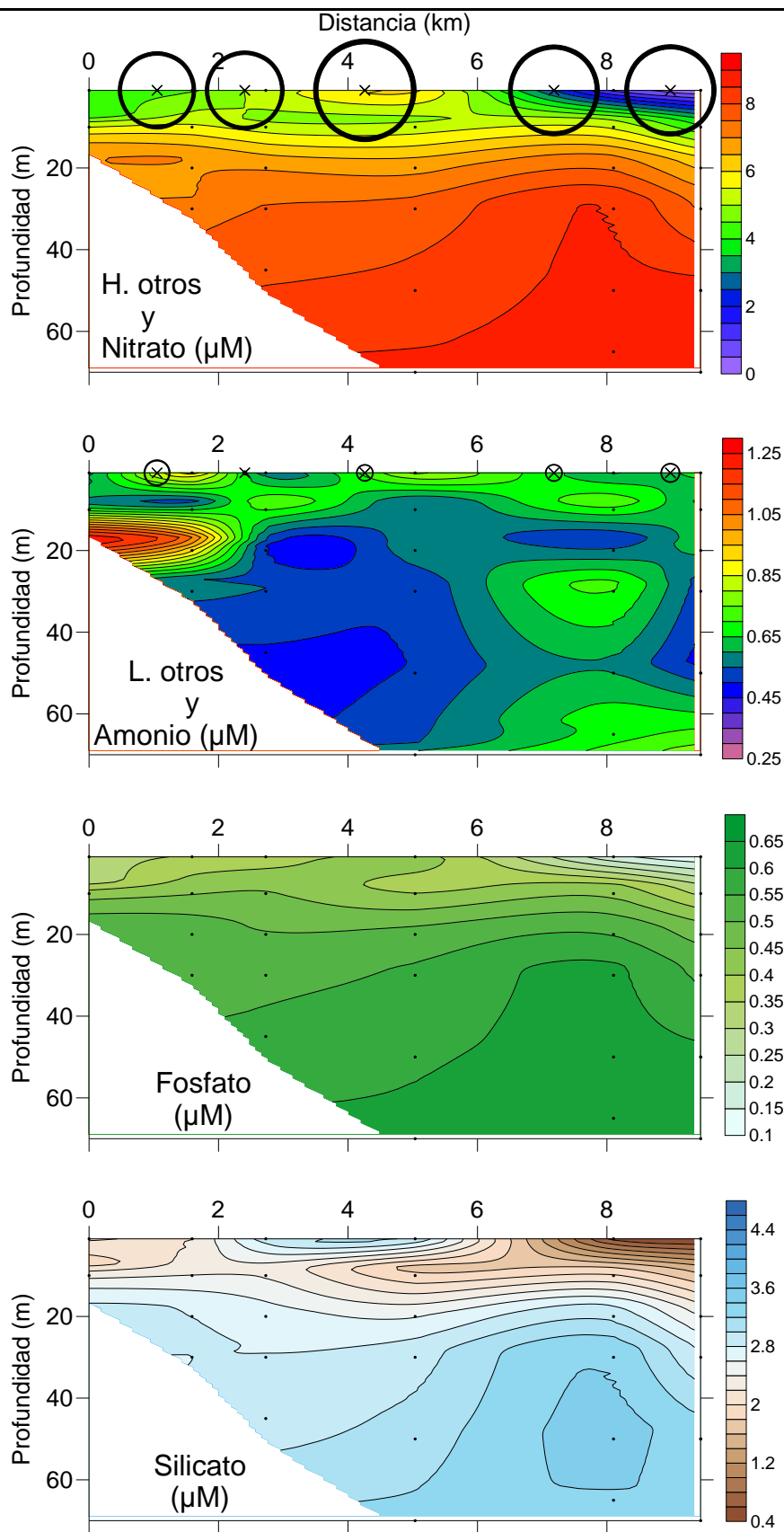


Figura 6b. Mismo transecto que en la figura 6a (Nalón – pleamar – mayo) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton corresponde a 83,6 huevos de otras especies por m^3 .

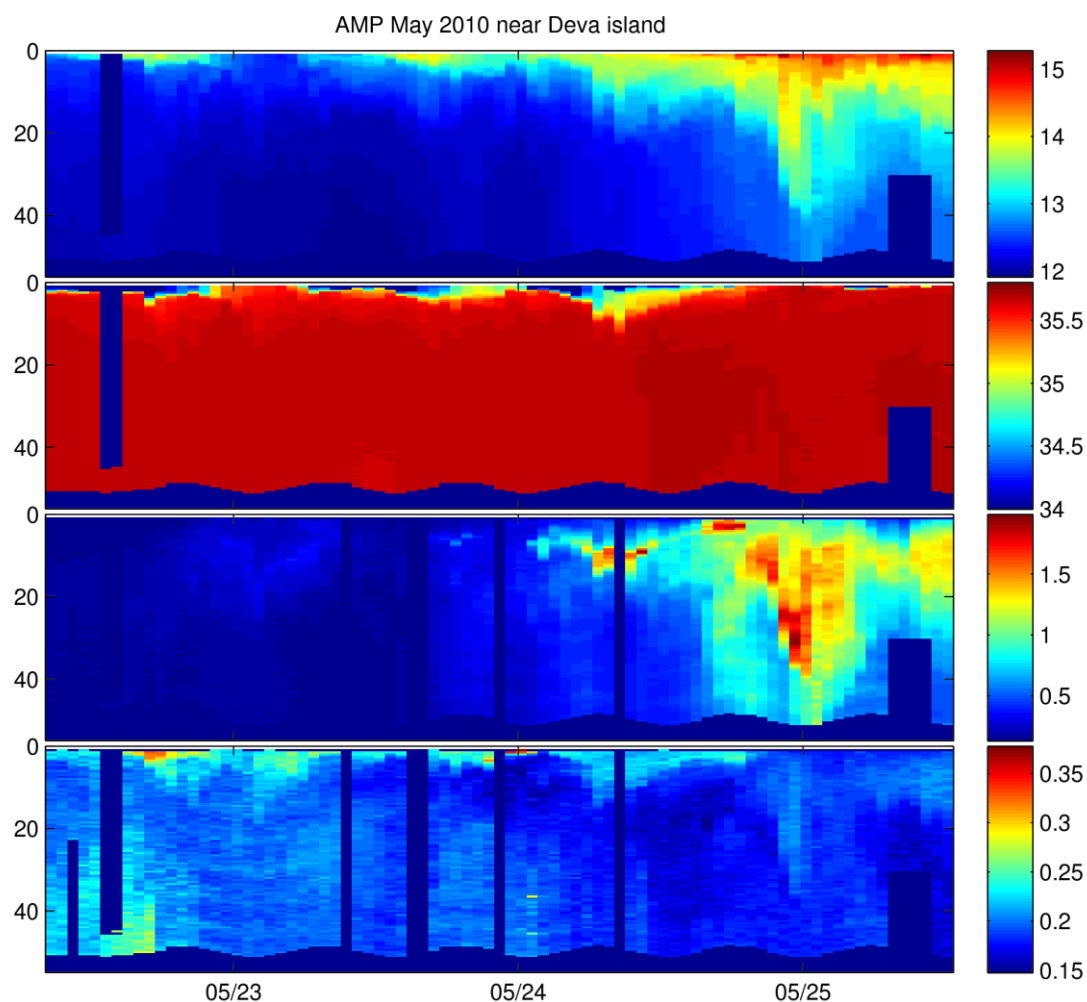


Figura 7. Perfiles (de arriba a abajo) de temperatura, salinidad, fluorescencia y transmitancia llevados a cabo mediante la boya perfiladora autónoma (AMP) en las proximidades del estuario del Nalón entre el 22 y el 25 de mayo.

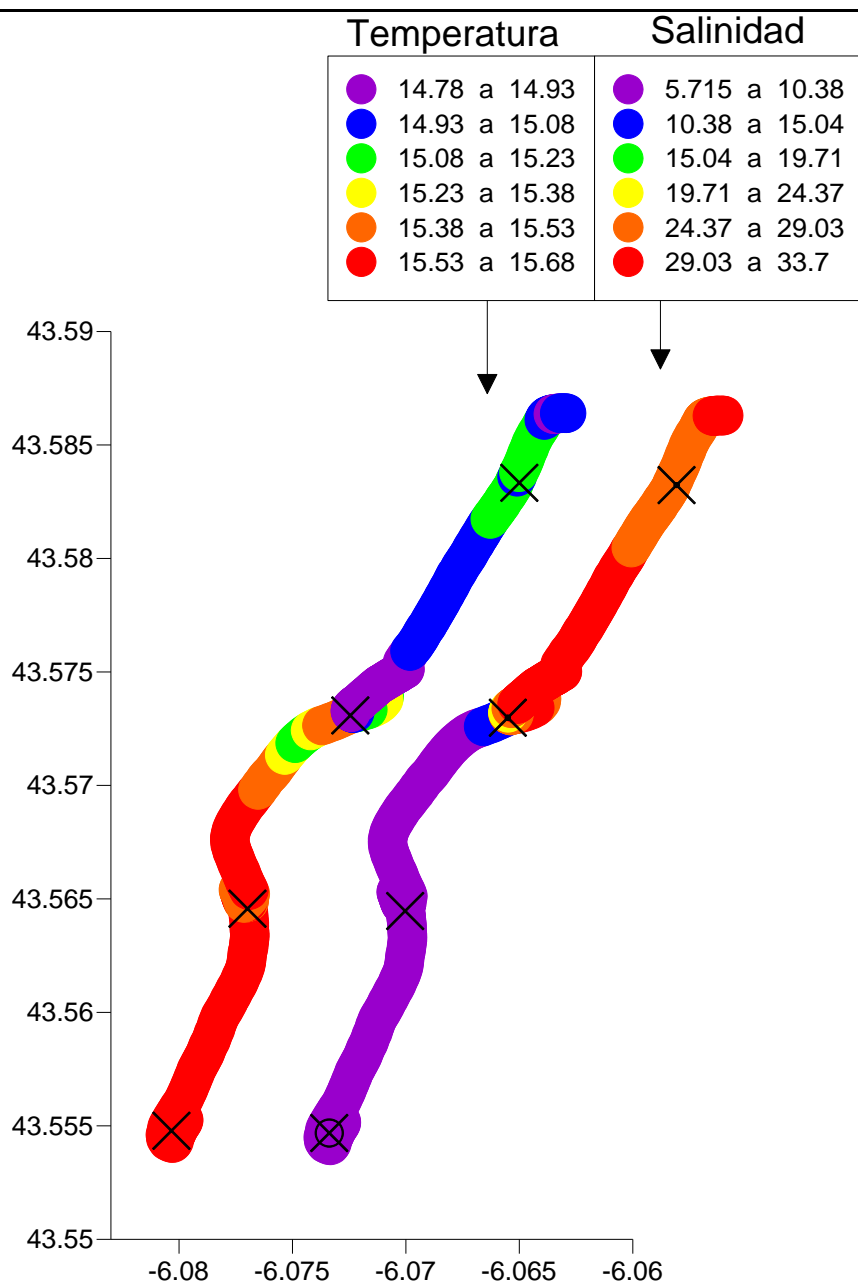


Figura 8a. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura y salinidad a lo largo del estuario del río Nalón durante la bajamar en el mes de mayo. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y el de salinidad está desplazado hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de sardina en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. Las aspitas indican la posición de las pescas. La abundancia máxima corresponde a 0.3 larvas de sardina por m^3 .

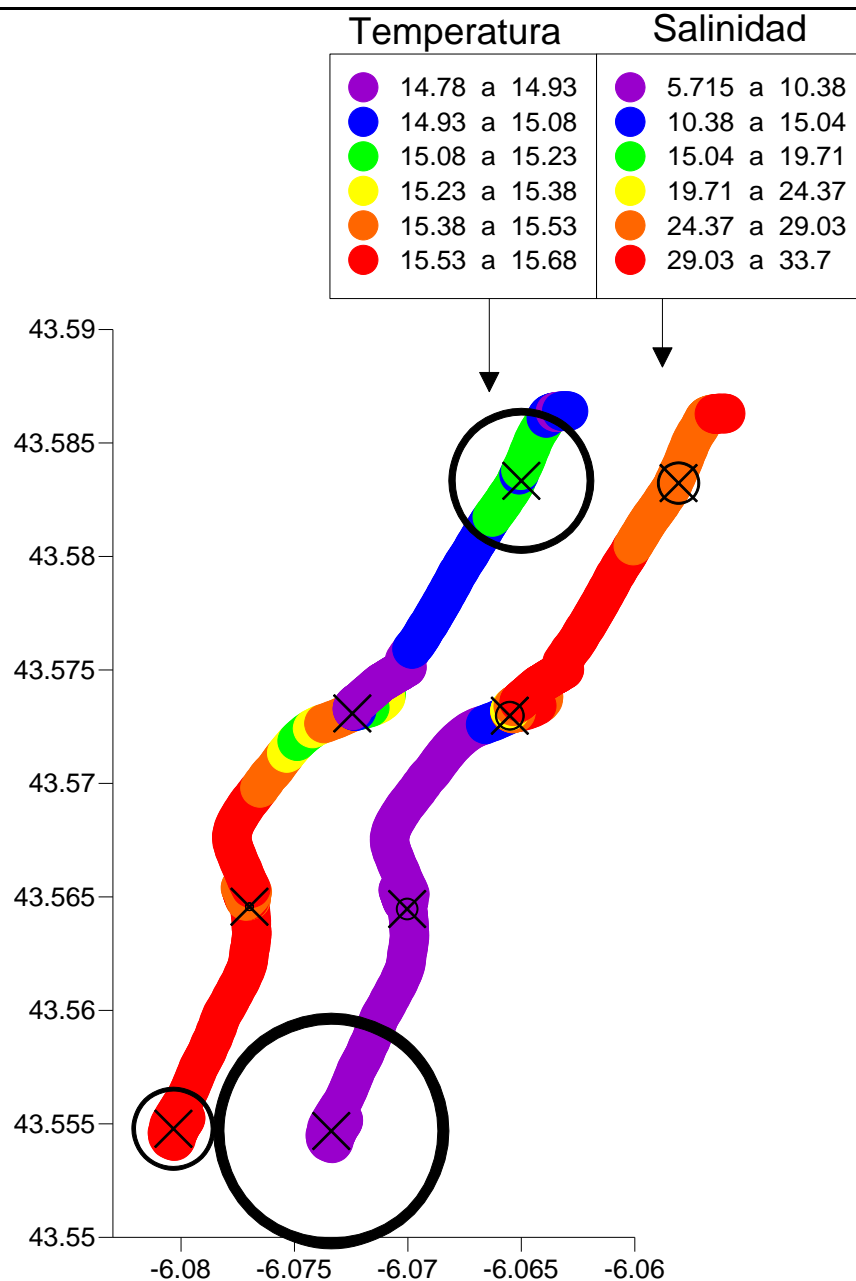


Figura 8b. Mismo transecto que en la figura 8a (estuario – Nalón – bajamar – mayo) pero en este caso se representa la abundancia de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de otras especies de peces (círculos, individuos m^{-3}). La abundancia máxima corresponde a 23.7 huevos de otras especies por m^3 .

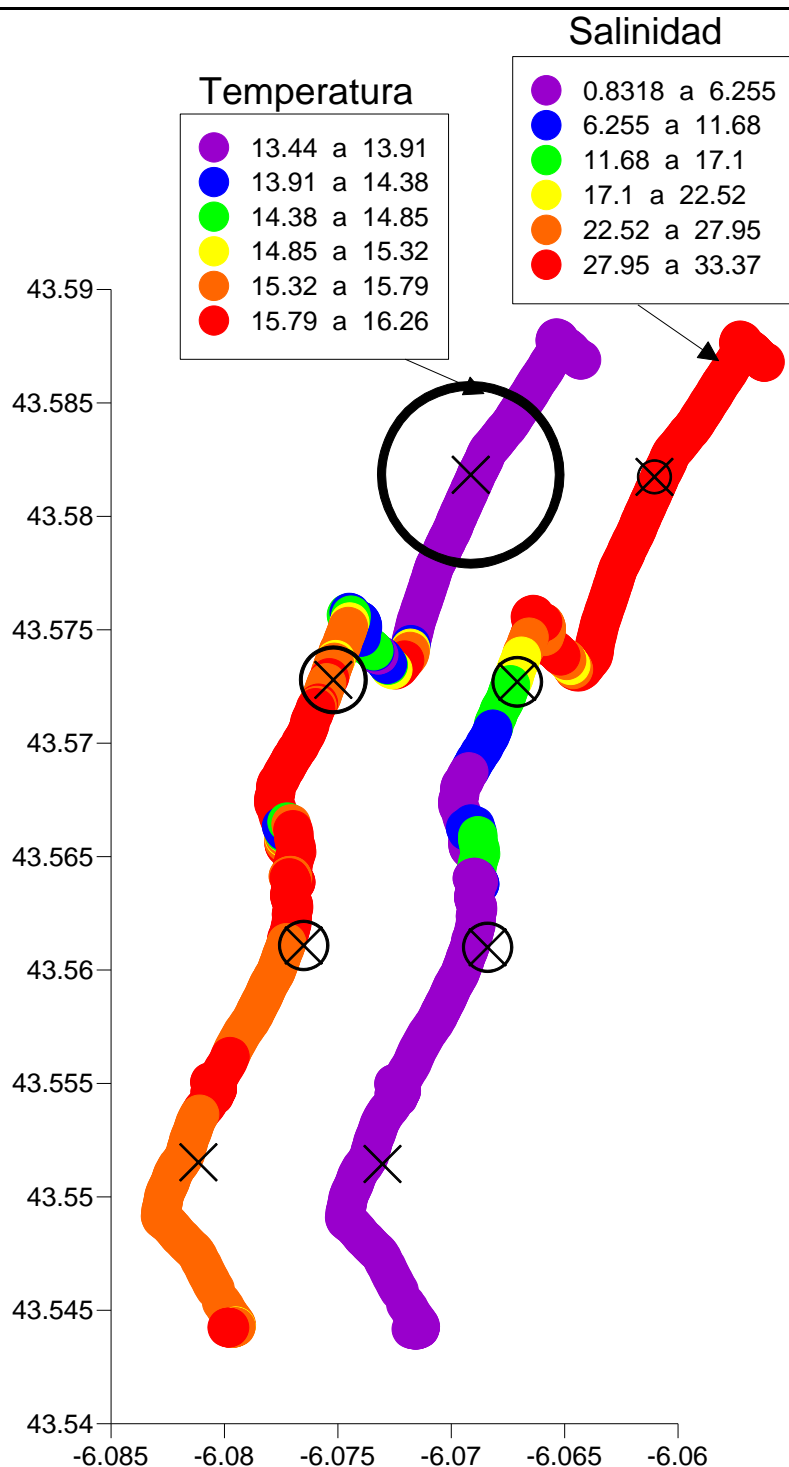


Figura 9a. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura y salinidad a lo largo del estuario del río Nalón durante la pleamar en el mes de mayo. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y el de salinidad está desplazado hacia la derecha para permitir su visualización. Se representa la abundancia (círculos, individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de sardina. La abundancia máxima corresponde a 1.5 huevos de sardina m^{-3} .

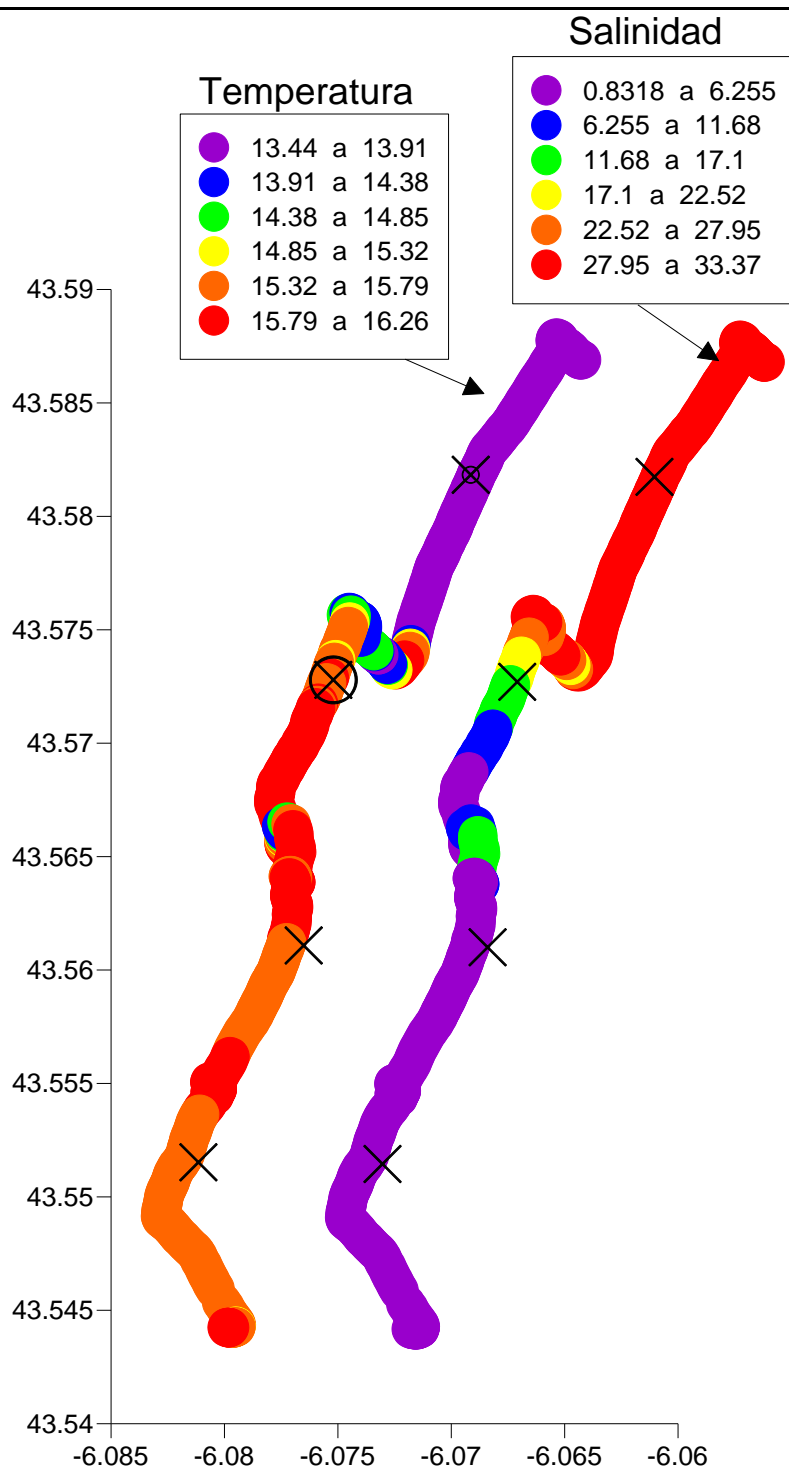


Figura 9b. Mismo transecto que en la figura 9a (estuario – Nalón – pleamar – mayo) pero en este caso se representa la de huevos y larvas de anchoa (círculos, individuos m^{-3}). La abundancia máxima corresponde a 0.1 huevos de anchoa m^{-3} .

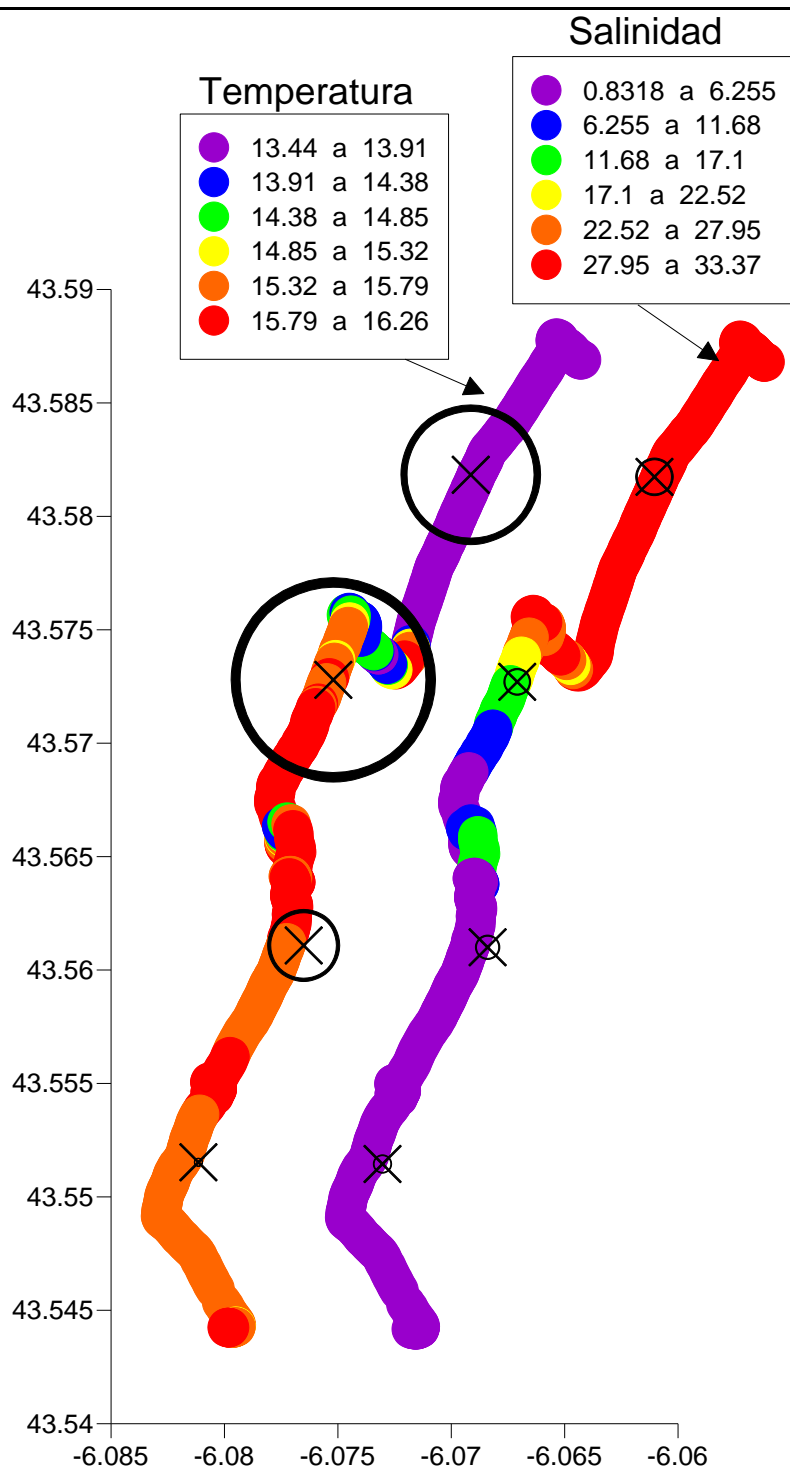


Figura 9c. Mismo transecto que en la figura 9a (estuario – Nalón – pleamar – mayo) pero en este caso se representa la abundancia de huevos y larvas de otras especies (círculos, individuos m^{-3}). La abundancia máxima corresponde a 17.9 huevos de otras especies m^3 .

Villaviciosa

El muestreo entre la bocana de la ría y la zona media de la plataforma continental ($z = 70$ m) se realizó el día 19, iniciándose, respectivamente, a las 12:25 y 06:44 horas GMT para las situaciones de bajamar (Figura 10) y pleamar (Figura 11). En bajamar, se aprecia una incipiente estratificación térmica (Figura 10a), con una diferencia de aproximadamente 1°C entre la superficie y los 15 m de profundidad. La influencia de los aportes de agua dulce procedentes del estuario es de menor intensidad que la observada en el Nalón: la salinidad superficial se sitúa en torno a 35.4 en los primeros 5 m de la columna de agua, y la zona de máximo gradiente se localizó a unos 10 m de profundidad. No obstante, la presencia de la pluma se hace más patente al representar la variación de salinidad a lo largo de un corte paralelo a la bocana del estuario (Figura 12). En este transecto se observa el descenso de los valores superficiales de salinidad (y el incremento de los valores de temperatura) en la estación situada al este de la bocana, lo que indica el desplazamiento de la pluma en esa dirección a su salida del estuario. La distribución de fluorescencia presentó los valores más elevados en el extremo oceánico, a una profundidad en torno a los 20 m. La distribución de oxígeno presentó una marcada estructura vertical, similar a lo largo del transecto, con valores entono a 6 ppm en los primeros 20 m y valores mínimos en torno a 5.4 ppm en el fondo y cerca del lecho submarino. Las distribuciones de nutrientes (Figura 10b) presentan un marcado gradiente vertical. Las clinas de nitrato, fosfato y silicato (isolíneas de 2, 0.2 y 1 respectivamente) se localizaron a 5 y 20 m de profundidad en las estaciones situadas, respectivamente, a 2 y 8 km de la estación más costera. La influencia de los aportes procedentes del estuario fue perceptible sólo en la estación más cercana a la bocana. La distribución de amonio difiere de la de los otros nutrientes ya que presentó un máximo superficial localizado a unos 20 m profundidad.

Las condiciones oceanográficas fueron similares en la pleamar (Figura 11). Las diferencias más notables que se aprecian asociadas a la influencia de agua costera y de plataforma son: la reducción del gradiente térmico en el extremo costero; la presencia de una lente superficial de baja salinidad en la parte exterior del transecto, a unos 5 km de la estación costera; el incremento de fluorescencia en la bocana del estuario; y una ligera disminución de las concentraciones de nutrientes en las proximidades de la bocana (Figura 11b).

La abundancia de huevos de anchoa, tanto en bajamar (Figura 10a) como en pleamar (Figura 11a), fue superior a la observada en la zona del Nalón mientras que la abundancia de sardina fue similar. La distribución de huevos de sardina se incrementó hacia el extremo oceánico del transecto, mientras que los de anchoa presentaron un valor máximo de $7.6 \text{ huevos} \cdot \text{m}^{-3}$ en la zona media del mismo. No se detectó presencia de larvas de anchoa, pero sí de sardina, particularmente en la estación más costera. La abundancia y distribución de huevos y larvas de estas especies en pleamar fueron similares a las observadas en bajamar. En cuanto a la distribución de huevos de otras especies de peces, éstos se distribuyeron a lo largo del transecto, alcanzando las abundancias más elevadas hacia la mitad del mismo ($100 \text{ huevos} \cdot \text{m}^{-3}$). Las abundancias fueron ligeramente inferiores en bajamar (Figura 10b) que en pleamar (Figura 11b). Las larvas de otras especies de peces se distribuyeron a lo largo del transecto en bajamar, y más próximas a costa en pleamar.

Las condiciones hidrográficas y distribuciones de ictioplancton en el interior del estuario de Villaviciosa, entre la bocana y ‘El Caleru’ (aprox. En 43.50°N), se midieron sólo en pleamar debido a problemas con el sistema integrado para el registro de temperatura, salinidad y florescencia (SeaBird SBE19 y fluorómetro WET Labs) durante el muestreo de bajamar. Durante la pleamar (Figura 13), se apreció una zona de máximo gradiente termo-halino hacia la parte interna del estuario, a la altura de ‘Musllera’ (aprox. En 43.51°N). Los rangos de variación de temperatura y salinidad en la parte exterior del frente fueron respectivamente $13.3\text{-}13.9^{\circ}\text{C}$ y 34-36. La temperatura se incrementó, entre 14.5 y 16.9°C , y la salinidad disminuyó, entre 33 y 26 desde la parte interna del frente hacia el interior del estuario (último punto de muestreo en la pleamar de

mayo a la altura de ‘ El Caleru’). La fluorescencia se mantuvo homogénea hacia la parte externa, incrementándose progresivamente a partir de la parte interna del frente hacia el interior del estuario, donde alcanza los valores máximos.

En el estuario de Villaviciosa, se observaron huevos de sardina en la parte exterior del frente, y larvas a lo largo de todo el estuario, si bien preferentemente en la zona interna (Figura 13a). Los huevos de otras especies de peces se distribuyeron preferentemente en la parte externa, mientras que las larvas se distribuyeron a lo largo de todo el estuario, con máximos de abundancia en la parte interna (Figura 13b). No se observaron ni huevos ni larvas de anchoa dentro del estuario.

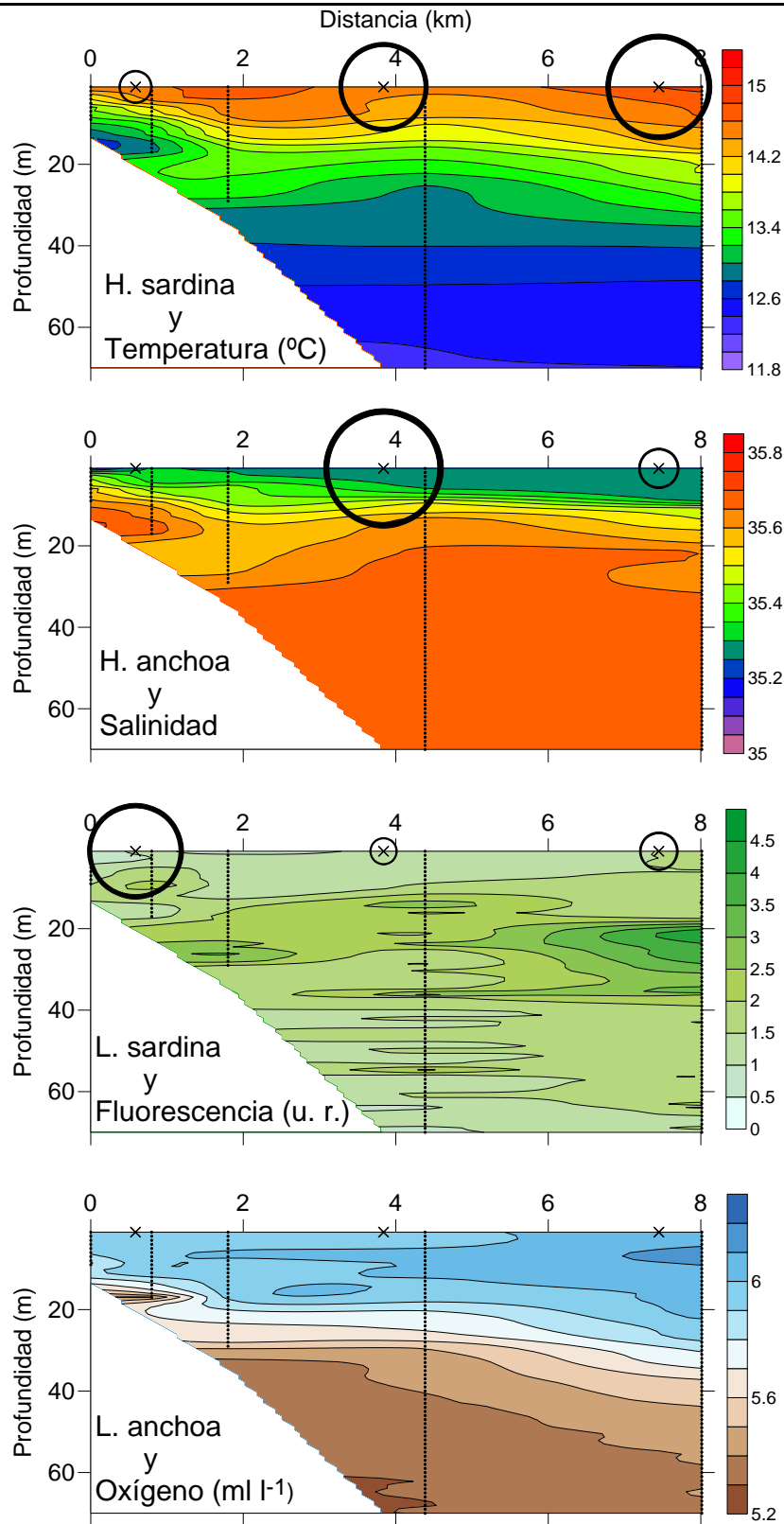


Figura 10a. Transecto costa-océano frente a la desembocadura de la Ría de Villaviciosa (Fig X) durante la bajamar en el mes de mayo. Distribución de temperatura, salinidad, fluorescencia (unidades relativas) y concentración de oxígeno, y abundancia (individuos m^{-3} ; círculos) de huevos (H.) y larvas (L.) de sardina y anchoa en la capa superficial de agua (a ~ 1 m de profundidad). Las líneas de puntos representan los perfiles de la sonda CTD. Las aspas indican la posición de las pescas y el área de cada círculo es proporcional a la abundancia de huevos o larvas. El círculo de mayor área corresponde a una abundancia de 7,6 huevos de anchoa m^{-3} .

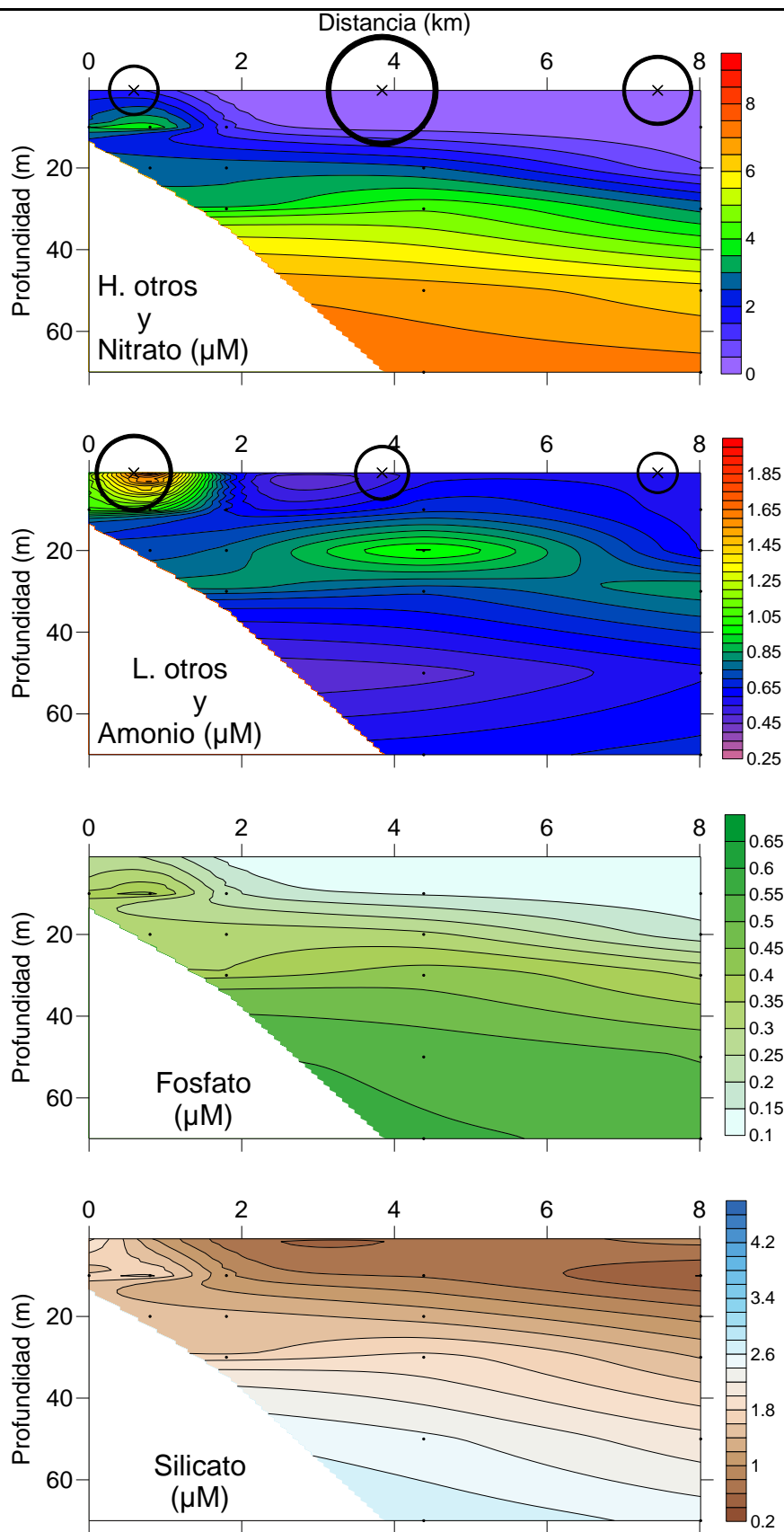


Figura 10b. Mismo transecto que en la figura 10a (Villaviciosa – bajamar – mayo) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 100 huevos de otras especies por m^3 .

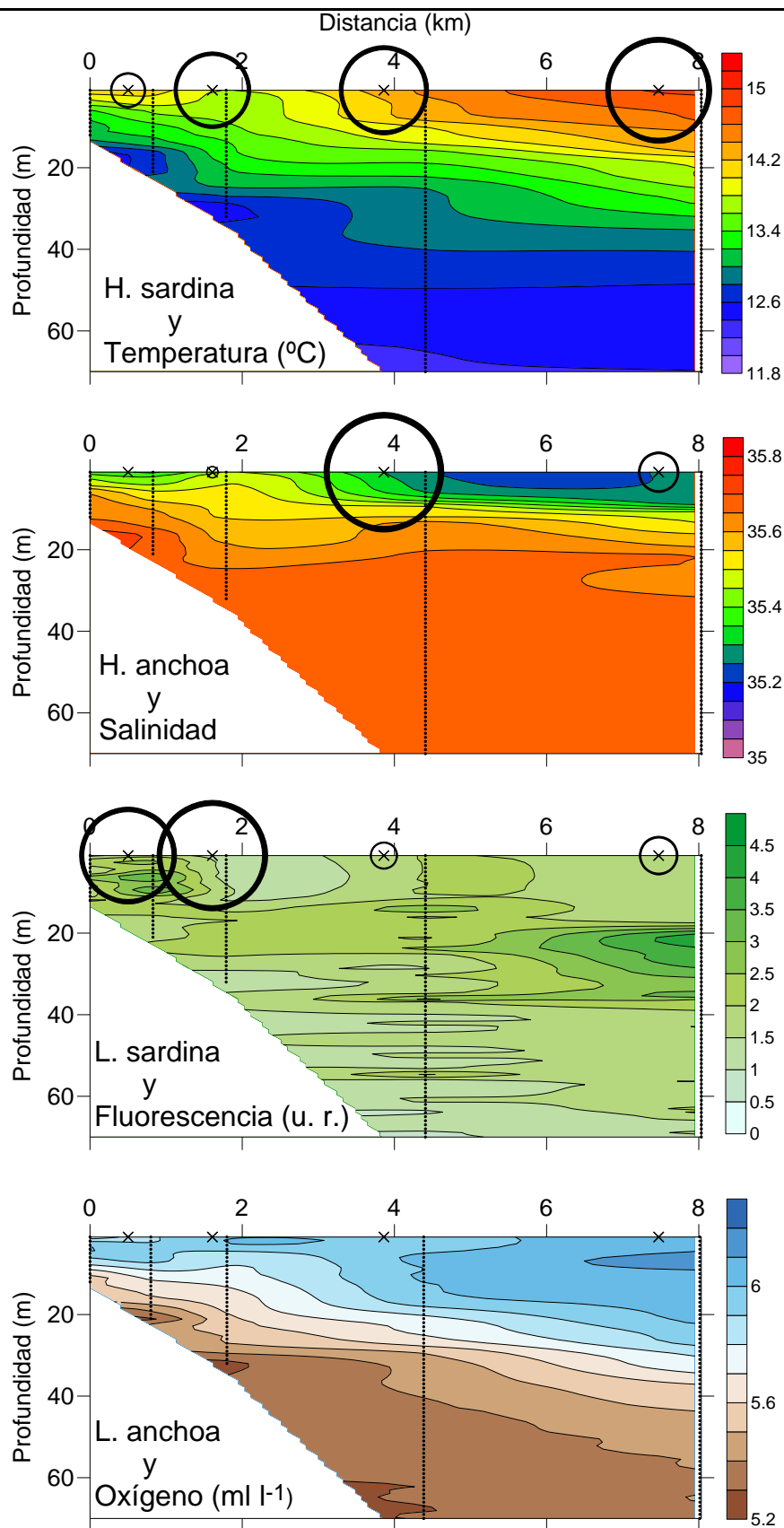


Figura 11a. Transecto costa-océano frente a la desembocadura de la Ría de Villaviciosa durante la pleamar en el mes de mayo. Se representan las mismas variables que en la figura 5a. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 7,6 huevos de anchoa por m³.

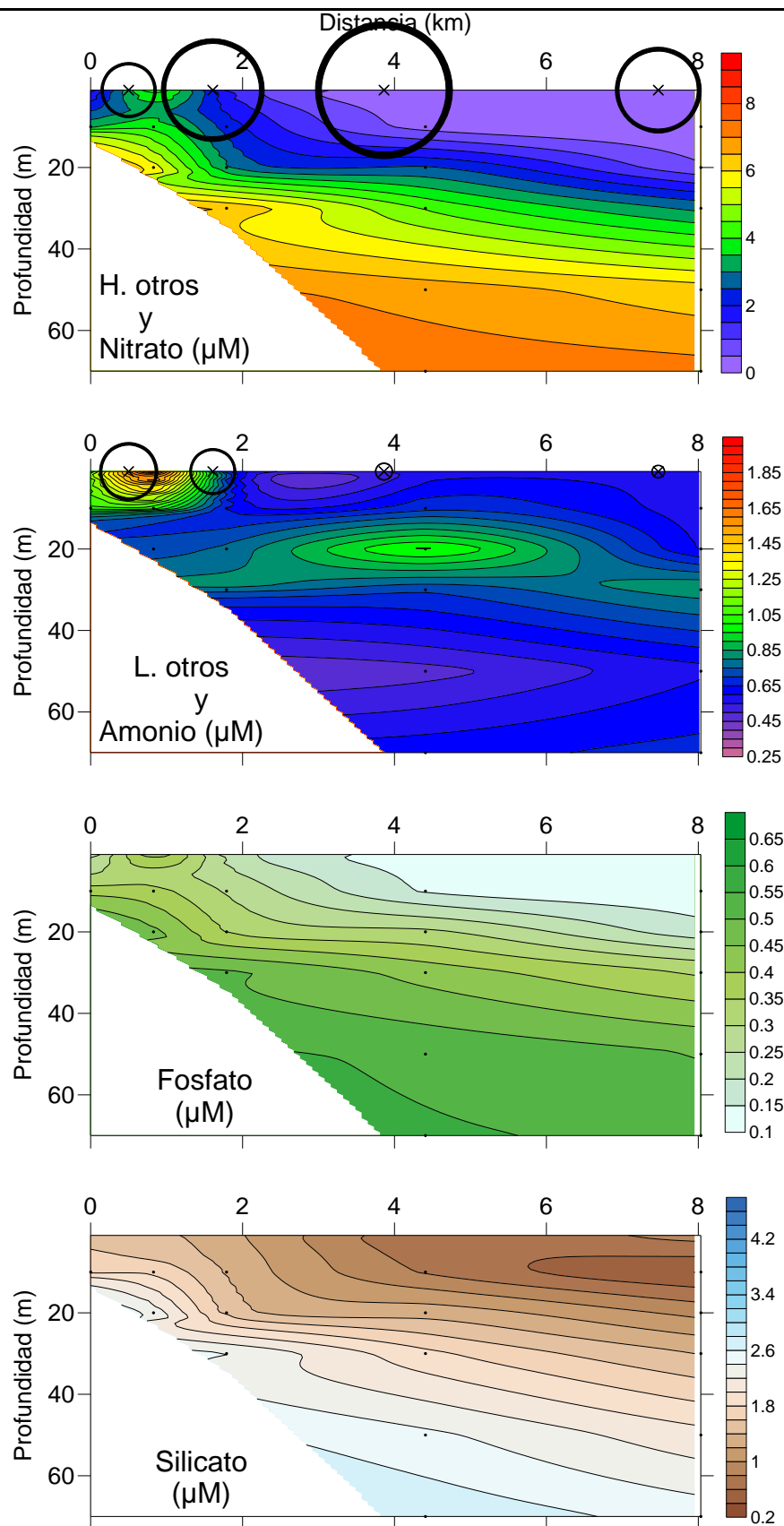


Figura 11b. Mismo transecto que en la figura 11a (Villaviciosa – pleamar – mayo) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 100 huevos de otras especies por m^3 .

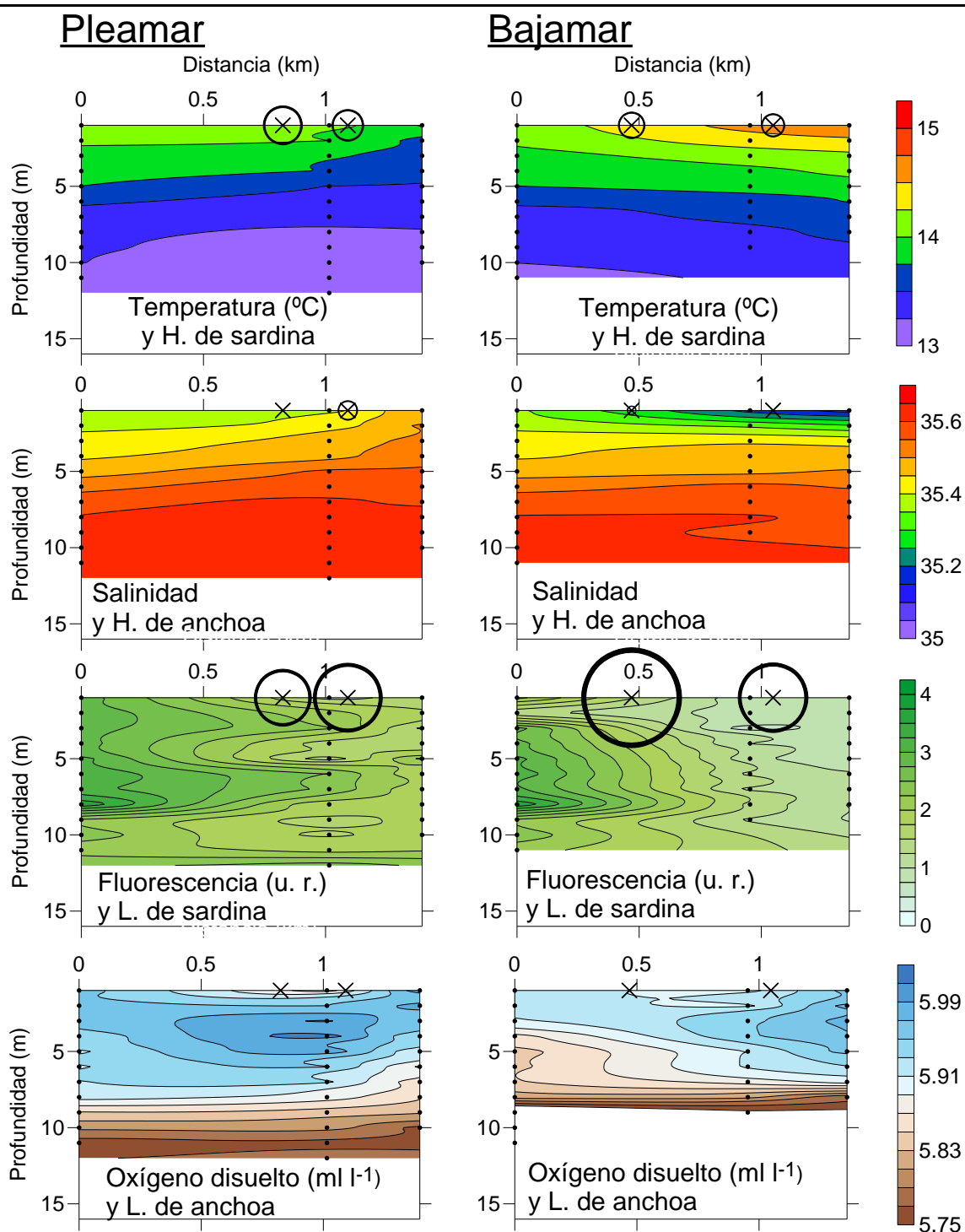


Figura 12. Transecto Oeste-Este de tres estaciones, paralelo y cercano a la costa, en el que la estación intermedia está situada frente a la entrada del estuario de la Ría de Villaviciosa y que fue realizado en mayo durante la pleamar (columna de la izquierda) y durante la bajamar (derecha). Se representa la distribución de temperatura, salinidad, fluorescencia (u. r., unidades relativas) y concentración de oxígeno, y las abundancias de huevos y larvas de sardina y anchoa. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 21.2 larvas de otras especies por m³.

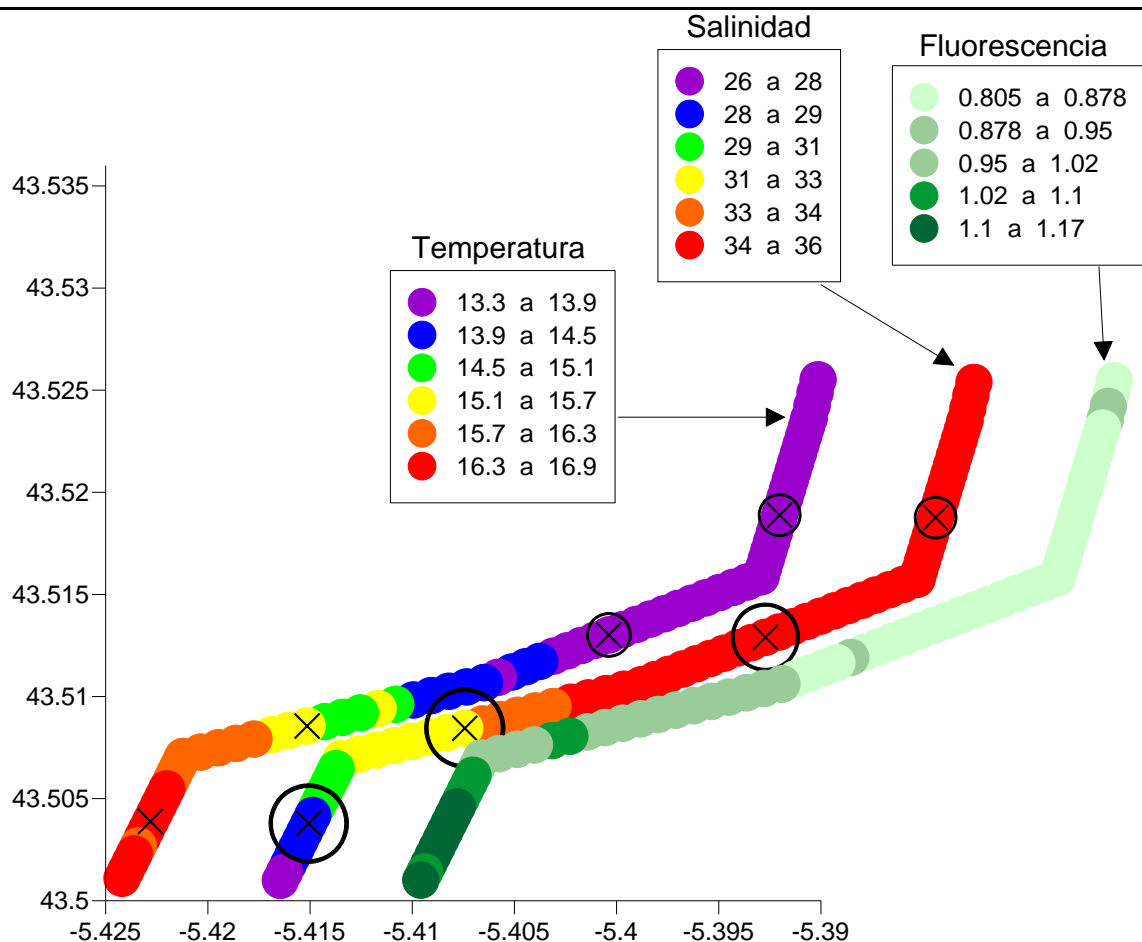


Figura 13a. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura, salinidad y fluorescencia a lo largo de la Ría de Villaviciosa durante la pleamar en el mes de mayo. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y los de salinidad y fluorescencia están desplazados hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de sardina en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. Las aspas indican la posición de las pescas. La abundancia máxima corresponde a 0.3 larvas de sardina por m^3 .

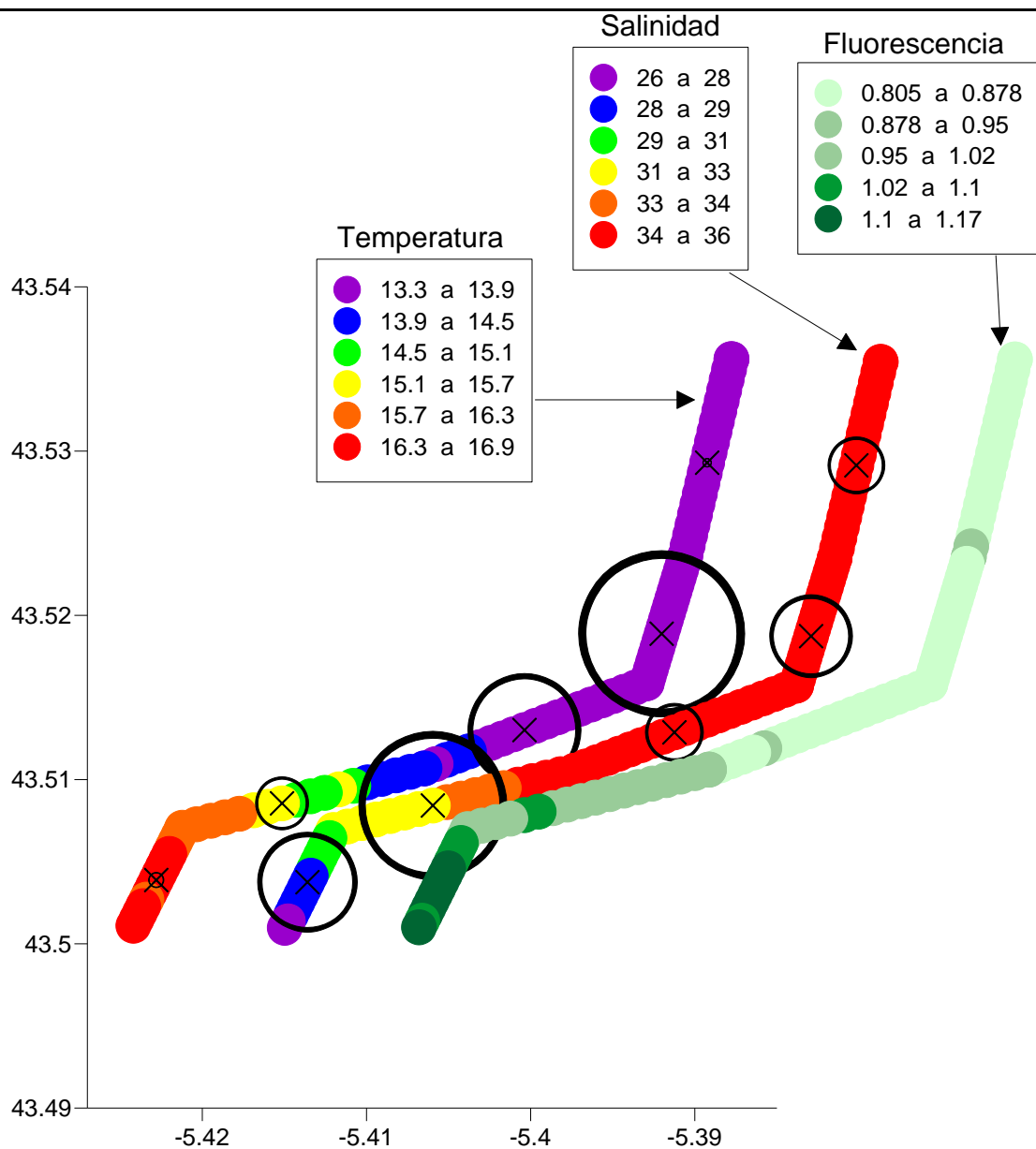
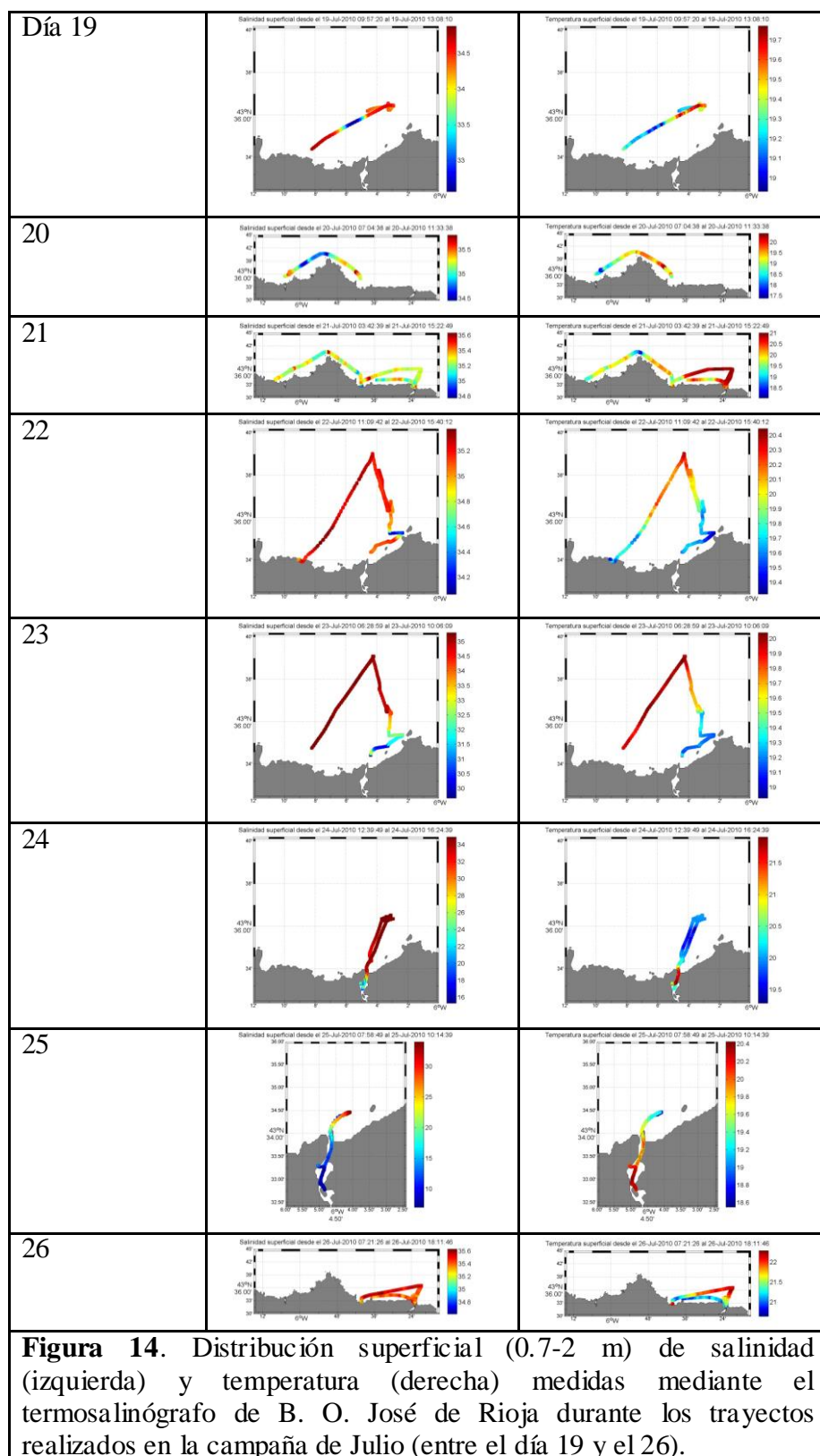


Figura 13b. Mismo transecto que en la figura 13a (estuario – Villaviciosa – pleamar – mayo) pero en este caso se representa la abundancia de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de otras especies de peces (círculos, individuos m^{-3}). La abundancia máxima corresponde a 14.4 huevos de otras especies por m^3 .

Julio

El rango de variación de salinidad superficial en la zona de estudio fue más estrecho que el observado en Mayo (Figura 3). Valores de salinidad <33 se registraron sólo dentro de ambos estuarios y en las proximidades de la bocana del Nalón. La temperatura superficial presentó un rango de variación relativamente estrecho ($19\text{--}22^\circ\text{C}$). Se observaron temperaturas superficiales más elevadas al este que al oeste de Cabo Peñas.



La secuencia diaria de operaciones llevada a cabo en el muestreo de Julio (EcoAnchoa-AS0710) se muestra en la Figura 14. La distribución de salinidad en superficie en la zona del Nalón indica que la influencia de la pluma, aunque de menor intensidad que la observada en Mayo, se extendió hasta las proximidades de Cabo Peñas, especialmente en bajamar (día 23). Fue notable la presencia de numerosos frentes térmicos, especialmente entre la zona próxima a costa ($z < 50$ m), con valores de temperatura en tono a 19 °C, y la zona intermedia de la plataforma, con valores de temperatura en torno a 21 °C. Dentro del estuario, la temperatura se incrementó respecto a los valores registrados en la zona costera, tanto en bajamar (día 24) como en pleamar (día 25). En la zona de Villaviciosa se apreció también una zona frontal de naturaleza térmica entre la zona costera y la parte media de la plataforma (día 26). En esta zona, debido a una incidencia con de la boya perfiladora, que queda reflejada en los tránsitos del día 21, mediaron 5 días entre el muestreo en bajamar (día 21) y el de pleamar (día 26).

Nalón

La variabilidad de temperatura a lo largo del transecto entre la estación costera próxima a la bocana y la estación localizada en la parte media de la plataforma refleja una intensificación de la estratificación térmica respecto al muestreo llevado a cabo en Mayo, con una diferencia de 3 °C entre la superficie y 20 m de profundidad. En la zona interna del transecto, la distribución vertical de temperatura fue homogénea en bajamar (día 23; 07:31 GMT) (Figura 15a), intensificándose durante la pleamar (día 22, 12:12 GMT) por la influencia de aguas costeras y de plataforma (Figura 16a). Se apreció la presencia de la pluma, con un gradiente halino muy marcado que afectó sin embargo sólo a las estaciones interiores del transecto. En pleamar, la influencia de la pluma disminuyó significativamente. La distribución de clorofila, en u. r. de fluorescencia, fue similar en las dos situaciones de marea. Ambas se caracterizaron por presentar un máximo sub-superficial localizado a unos 20 m de profundidad y 3 km de la estación más costera, si bien tuvo lugar un incremento general de la concentración durante la pleamar. El oxígeno disuelto presentó una distribución de valores similar en ambas situaciones de marea, con un marcado gradiente vertical entre la superficie (ca. 6 ppm) y el fondo (ca. 5 ppm).

La distribución de nutrientes en bajamar (Figura 15b) evidenció la influencia de la pluma en las proximidades de la bocana, especialmente perceptible para el silicato, y la intensificación del gradiente vertical respecto a la situación observada en Mayo. Las clinas de nitrato, fosfato y silicato (isolíneas de 2, 0.2 y 1 respectivamente) se localizaron a unos 30 m de profundidad. La situación en pleamar (Figura 16b) reflejó la influencia del agua de plataforma: la capa superficial presentó valores bajos de nitrato ($< 0.5 \mu\text{M}$), fosfato ($< 0.2 \mu\text{M}$) y silicato ($< 1.5 \mu\text{M}$) a lo largo de todo el transecto. La distribución de amonio contrasta con la de los otros nutrientes. En bajamar (Figura 15b), la distribución fue relativamente homogénea, excepto por lo elevados valores registrados en la pluma y sobre todo cerca del fondo, a unos 2 km de la bocana. Los elevados valores de amonio cerca del fondo pueden deberse a la intensificación de los procesos de remineralización sobre el lecho submarino. En pleamar (Figura 16b), se apreciaron concentraciones relativamente elevadas cerca del fondo a lo largo del lecho submarino, y bajas en la columna de agua sobre la plataforma.

La boya perfiladora se fondeó en las proximidades del Nalón el 19, y permaneció operativa hasta el día 24 (Figura 17). El perfil de temperatura mostró la progresión de la termoclina, que alcanzó su máxima profundidad entre el 21 y 23 (z en torno a los 20 m). Se observaron una serie de oscilaciones de alta frecuencia en la profundidad de la capa de mezcla. Estas oscilaciones parecen estar asociadas con los ciclos de marea si atendemos a las oscilaciones de la isoterma de 14 °C que se observan cerca del fondo, prácticamente coincidentes con las bajamares. No obstante, no se puede descartar la influencia de otros procesos que operan a escalas de horas, tales como las variaciones en el régimen de vientos asociadas a los contrastes térmicos diurnos entre la superficie

del mar y la zona continental (brisas marinas), ondas internas o el ciclo diario de insolación. La variación de salinidad evidenció la influencia de capas someras de baja salinidad asociadas con la pluma al comienzo y al final del periodo muestreado. La fluorescencia mostró una típica situación estival, caracterizada por valores bajos en superficie y la presencia de un máximo sub-superficial asociado a la posición de la termoclina. Los valores de transmitancia, indicadores de la concentración de materia en suspensión, fueron homogéneamente bajos en toda la columna de agua, excepto cerca del fondo al comienzo del muestreo, presumiblemente asociados a las bajamares en combinación con una situación de afloramiento costero durante esa parte del muestreo.

Se detectó una baja abundancia de huevos de sardina (en torno a $0.1 \text{ huevos} \cdot \text{m}^{-3}$), tanto en la bajamar (Figura 15a) como en la pleamar (Figura 16a), en contraste con las abundancia relativamente elevadas de huevos de anchoa, localizados preferentemente en la parte costera del transecto, y más abundantes en bajamar que en pleamar (máximos de 56 y 14 $\text{huevos} \cdot \text{m}^{-3}$ respectivamente). La diferencia de abundancia entre ambas especies, patente también en el muestreo de Villaviciosa (ver a continuación), está en consonancia con el patrón temporal de puesta de ambas especies en el Cantábrico, con valores mínimos de intensidad de puesta de sardina en verano, y con la mayor intensidad de anchoa en sobre el mes de julio. En bajamar, se detectó un número relativamente importante de larvas de sardina cerca de costa, significativamente superior en bajamar que en pleamar, y presencia, aunque en bajas abundancias, de larvas de anchoa. En cuanto a la distribución de huevos y larvas de otras especies de peces, ambas se detectaron a todo lo largo del transecto, en abundancias algo menores en bajamar (Figura 15b) que en pleamar (Figura 16b).

Las condiciones hidrográficas entre la bocana (aprox. en 43.575°N) y la parte interna del estuario del Nalón (hasta 'El Castillo' en pleamar, aprox. en 43.545°N) presentaron un marcado contraste entre la bajamar (Figura 18) y la pleamar (Figura 19). En bajamar se apreció un suave descenso de temperatura (entre un valor máximo de 20.3°C y mínimo de 19.5°C) y un aumento acusado de salinidad (mínimo de 7, máximo de 29.5) entre la parte interna del estuario y la zona costera próxima a la bocana. Este cambio de las propiedades termo-halinas es relativamente progresivo, de manera que no se observa, como ocurría en mayo, una zona de cambio brusco. Durante la pleamar, se intensifica ligeramente el gradiente térmico (máximo de 20.7°C en el interior y mínimo de 19.6°C en el exterior), y disminuye considerablemente el halino como consecuencia de la entrada de agua costera y de plataforma (mínimo de 15.7 en el interior y máximo de 33.2 en el exterior). Como ocurría en la bajamar, no se aprecia la existencia de un frente marcado.

Se observaron huevos de sardina, a concentraciones muy bajas sólo en la bocana durante la bajamar (Figura 18a), pero no en la pleamar (Figura 19a). Sólo se detectaron larvas de esta especie en la zona interna en pleamar, también a muy bajas concentraciones. Los huevos y larvas de anchoa estuvieron presentes tanto en bajamar (Figura 18b) como en pleamar (Figura 19b), entre la parte externa y media del estuario y a concentraciones elevadas, superiores a la del resto de especies de peces. Los huevos se detectaron a lo largo del todo el transecto, aunque preferentemente en la zona exterior del estuario, a concentraciones más elevadas en bajamar que en pleamar. La abundancia de larvas presentó un patrón de distribución similar al de huevos. En cuanto a otras especies, se detectaron huevos y larvas a lo largo de todo el estuario. Los huevos fueron más abundantes hacia la bocana en bajamar (Figura 18c) y en la parte interna del estuario en pleamar (Figura 19c). La distribución de larvas fue homogénea en pleamar, mientras que en bajamar se localizaron picos de abundancia en la bocana y parte interna del estuario.

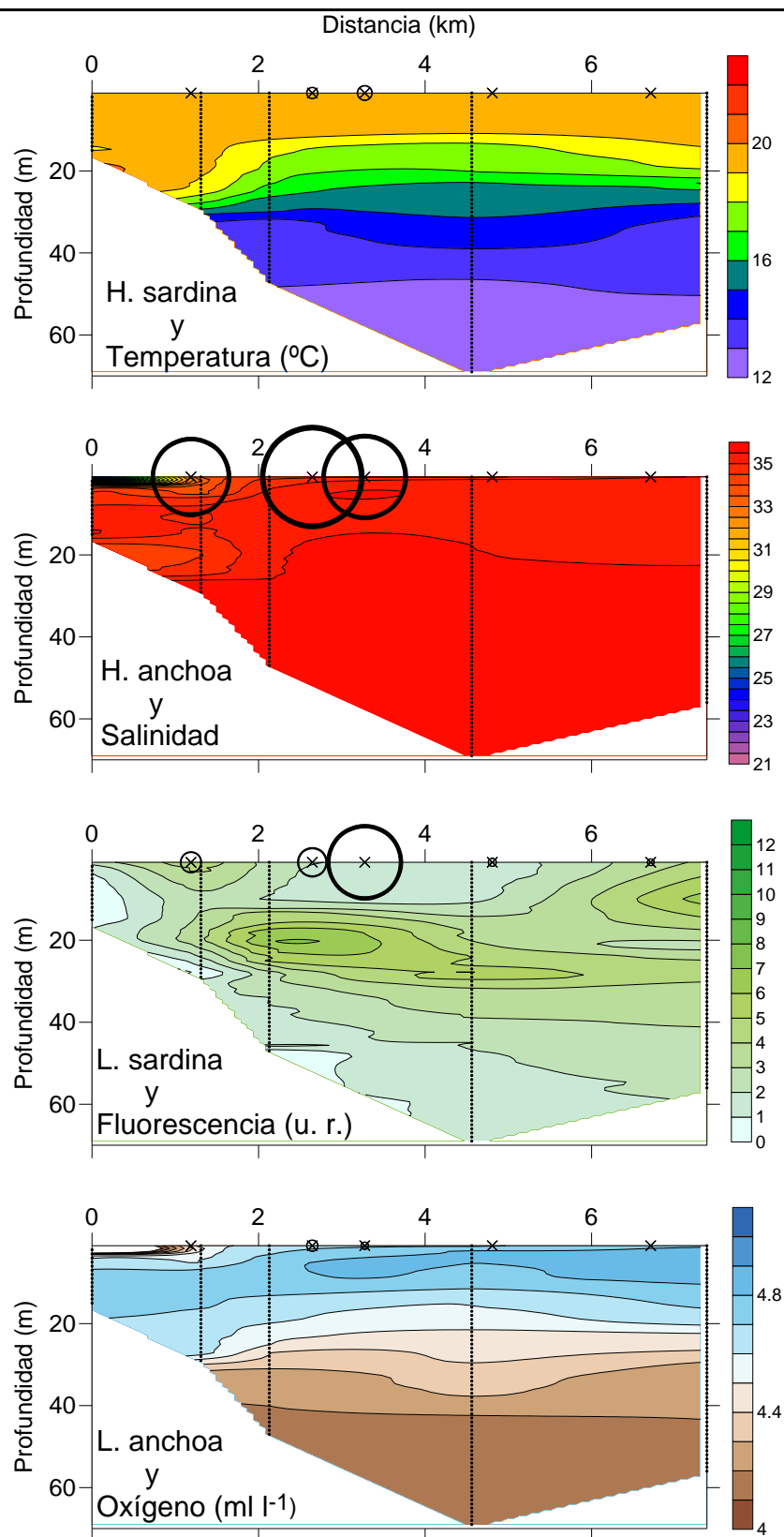


Figura 15a. Distribución vertical de temperatura, salinidad, fluorescencia y concentración de oxígeno a lo largo de un transecto costa-océano frente a la desembocadura del Nalón durante la bajamar en el mes de julio. En este caso hay una proporcionalidad diferente para los huevos de anchoa que para el resto del ictioplancton representado en la gráfica. La abundancia máxima de huevos de anchoa es de 56 huevos por m^3 y del resto es de 3 larvas de sardina por m^3 .

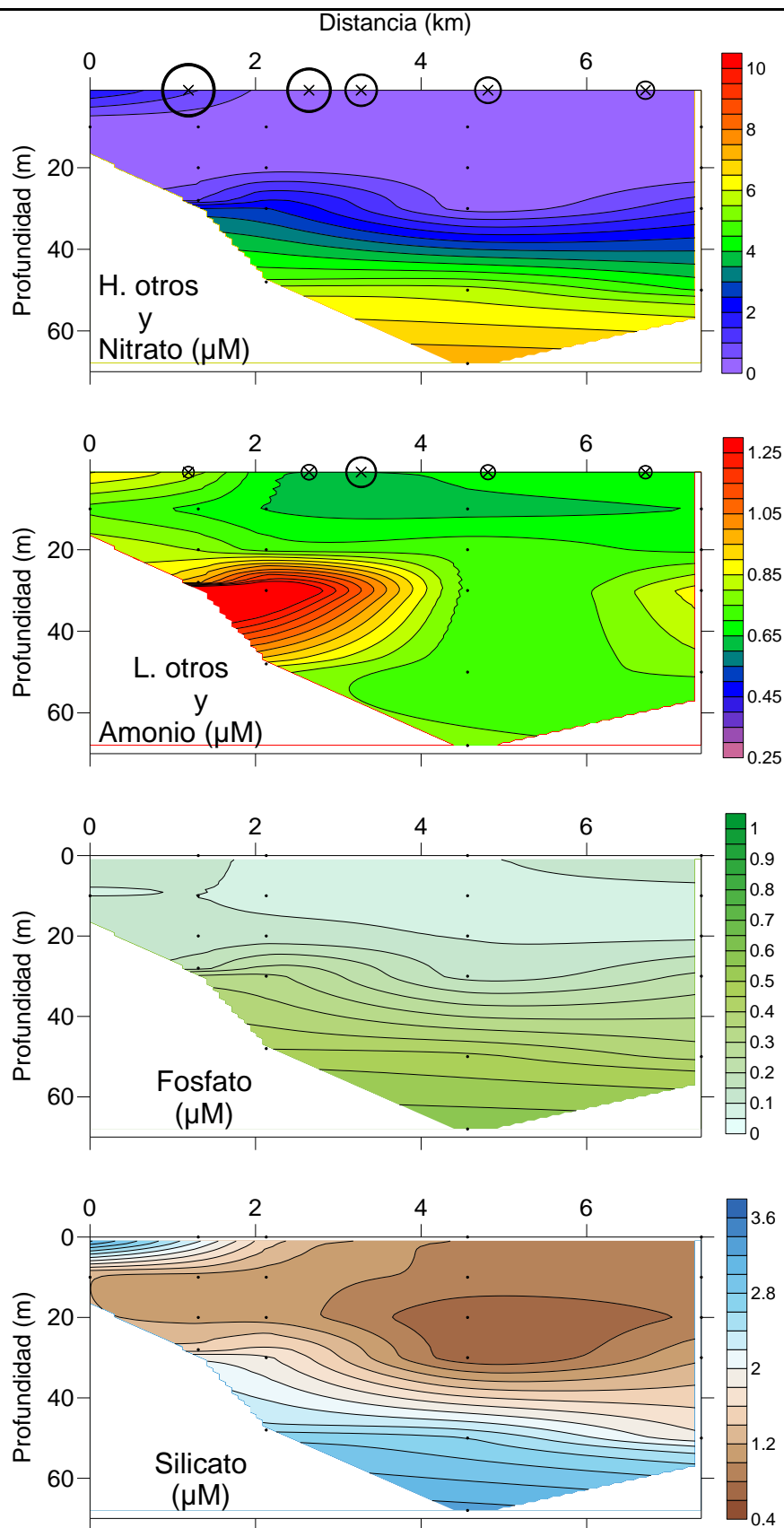


Figura 15b. Mismo transecto que en la figura 15a (Nalón – bajamar – julio) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 23 huevos de otras especies por m^3 .

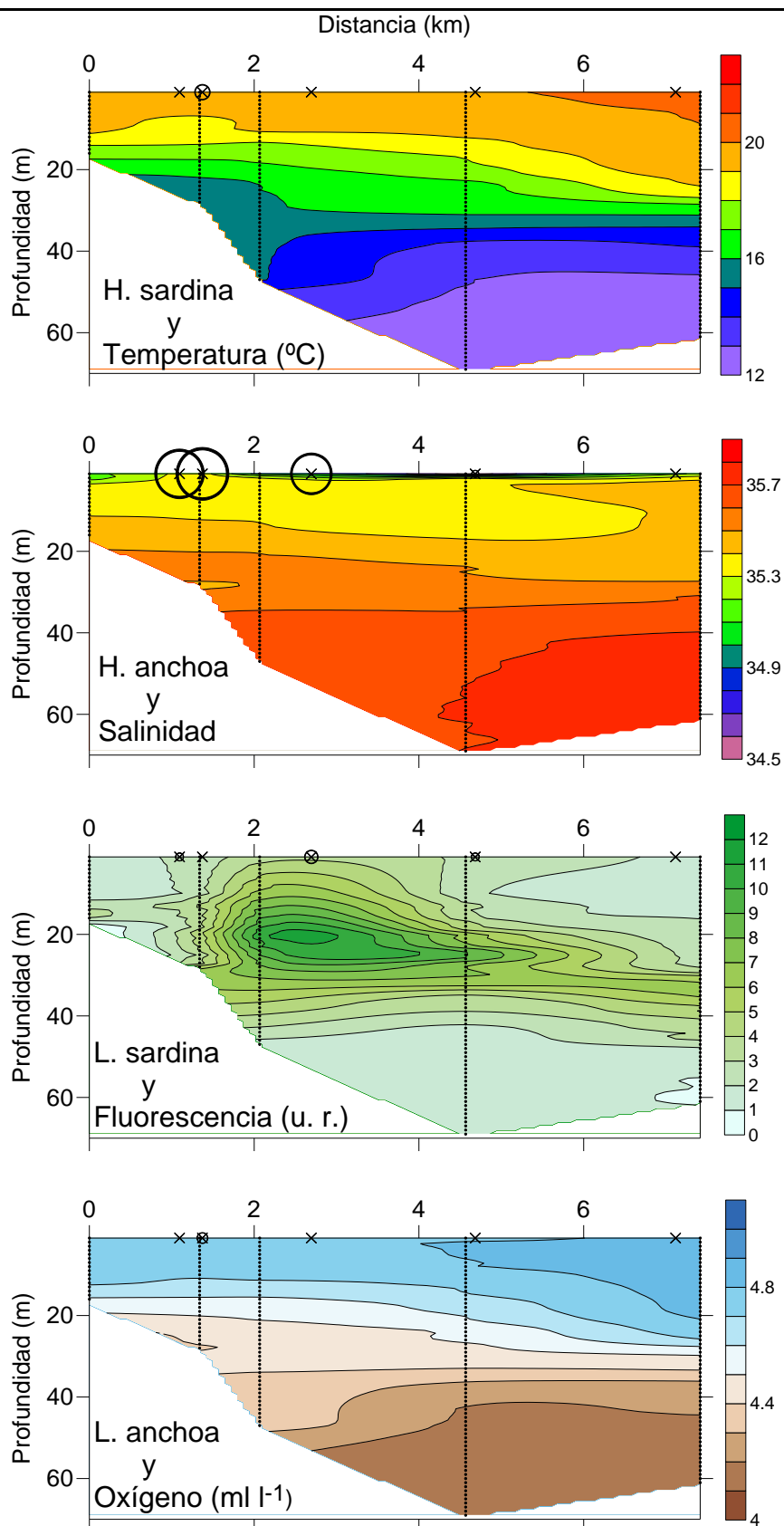


Figura 16a. Transecto costa-océano frente a la desembocadura del Nalón durante la pleamar en el mes de julio. Se representan las mismas variables que en la figura 9a. En este caso hay una proporcionalidad diferente para los huevos de anchoa que para el resto del ictioplancton representado en la gráfica. La abundancia máxima de huevos de anchoa es de 14 huevos por m^3 y del resto es de 0,1 huevos de sardina por m^3 .

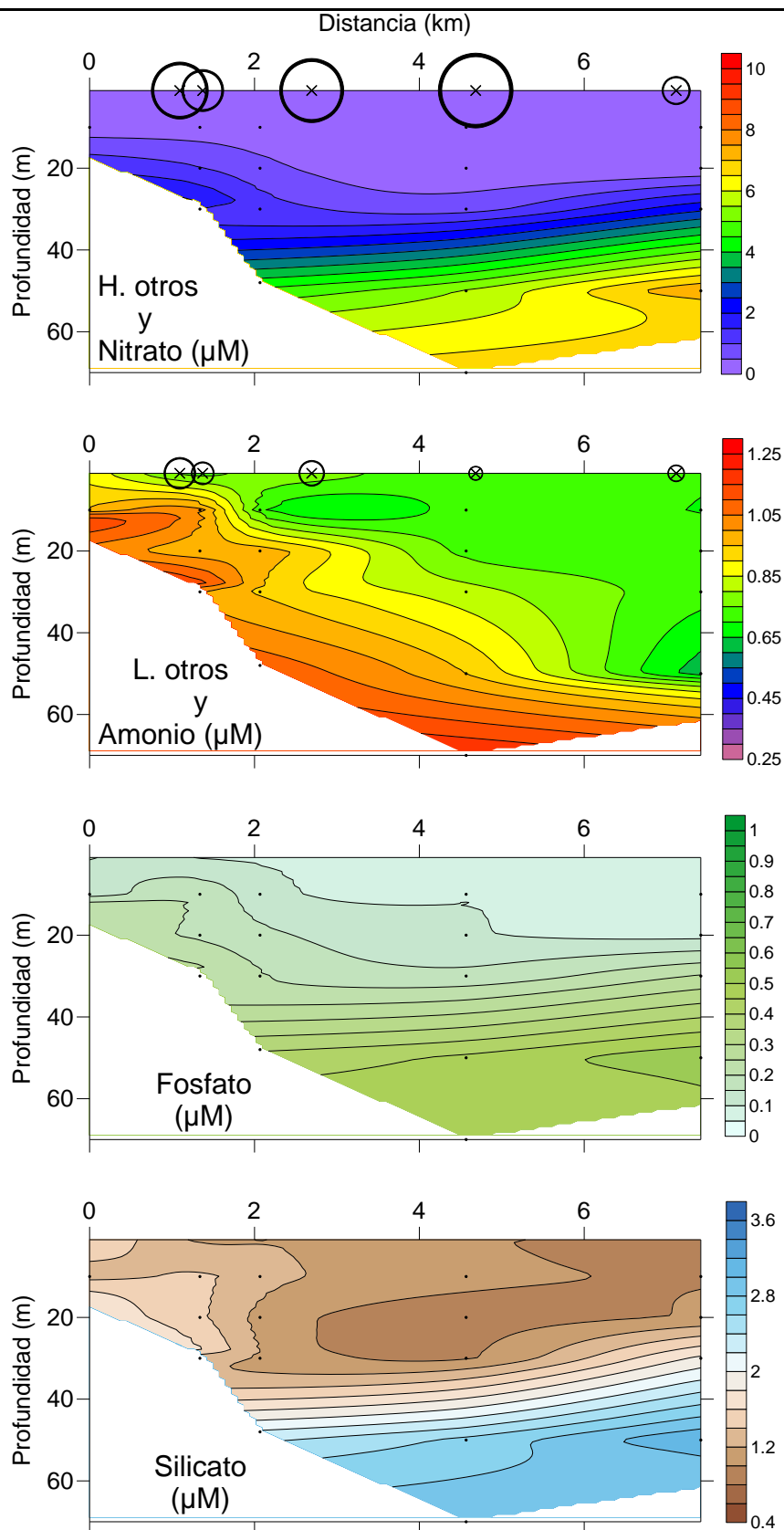


Figura 16b. Mismo transecto que en la figura 16a (Nalón – julio – pleamar) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 44 huevos de otras especies por m^3 .

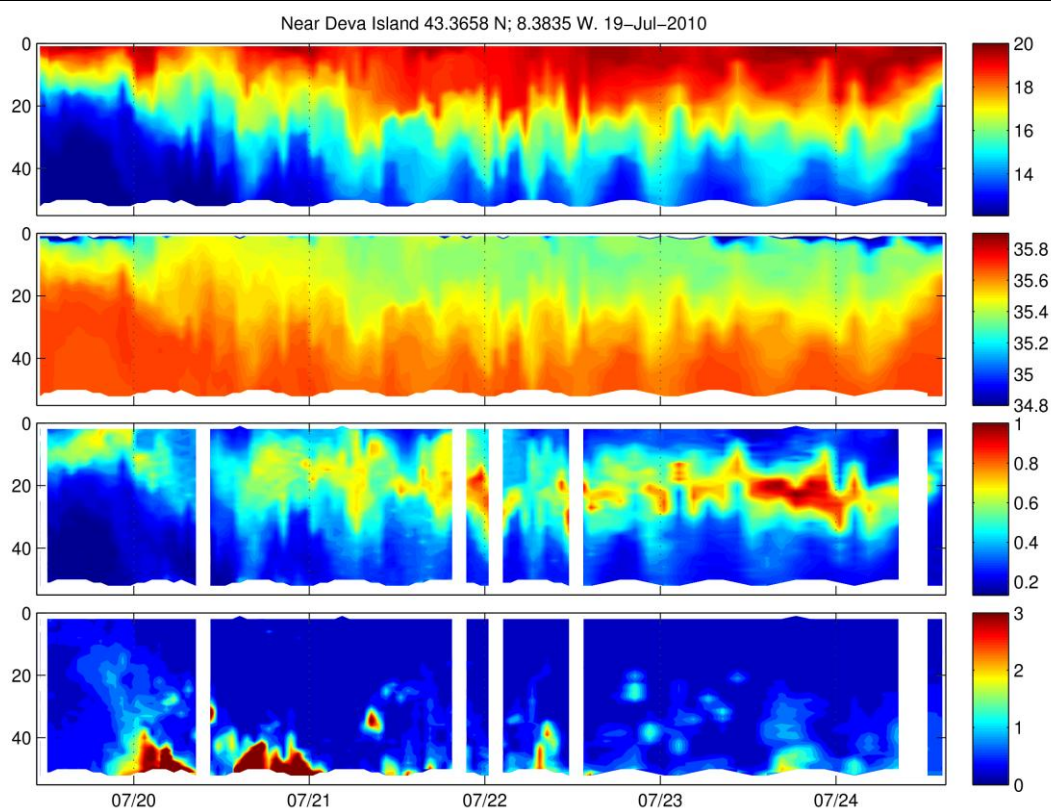


Figura 17. Perfiles (de arriba a abajo) de temperatura, salinidad, fluorescencia y transmitancia llevados a cabo mediante la boya perfiladora autónoma (AMP) en las proximidades del estuario del Nalón entre el 19 y el 24 de julio.

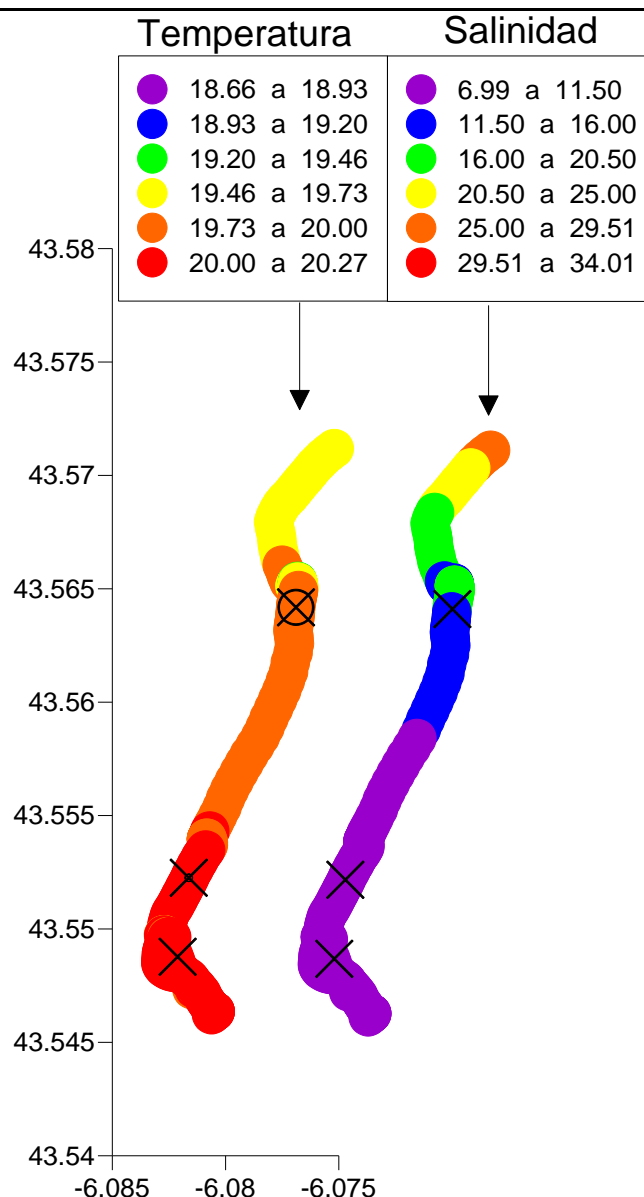


Figura 18a. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura y salinidad a lo largo del estuario del río Nalón durante la bajamar en el mes de julio. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y el de salinidad está desplazado hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de sardina en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. Las aspas indican la posición de las pescas. La abundancia máxima corresponde a 0.6 huevos de sardina por m^3 .

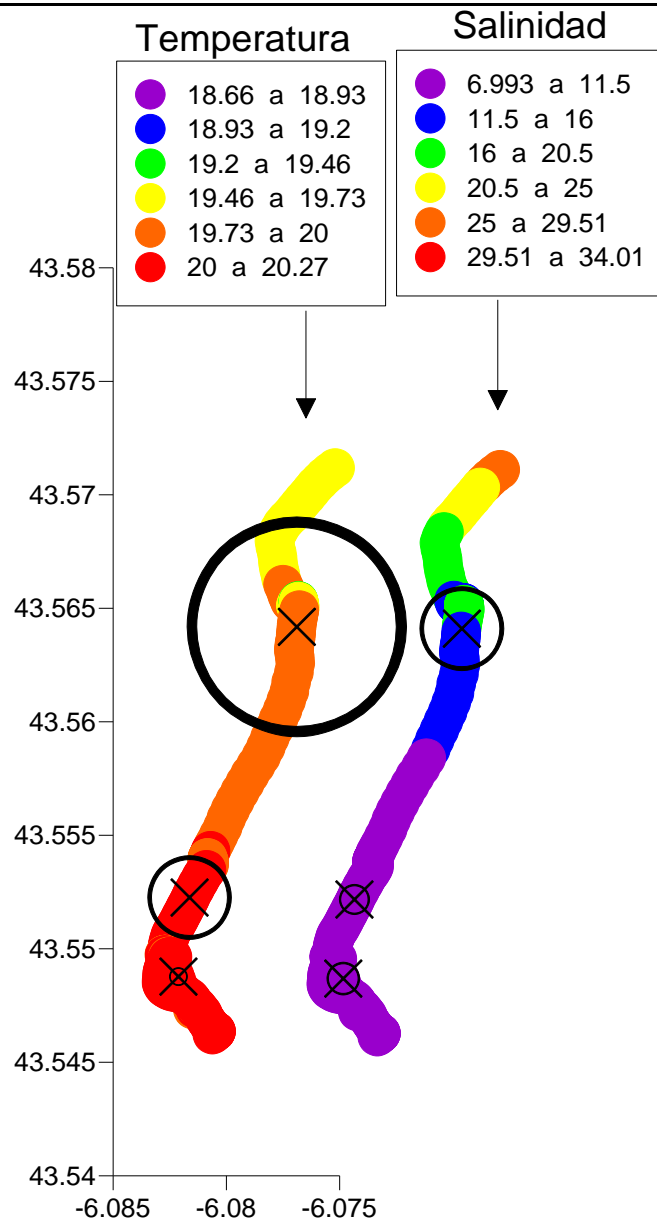


Figura 18b. Mismo transecto que en la figura 18a (estuario – Nalón – bajamar – julio) pero en este caso se representa la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de anchoa. La abundancia máxima corresponde a 38 huevos de anchoa por m^3 .

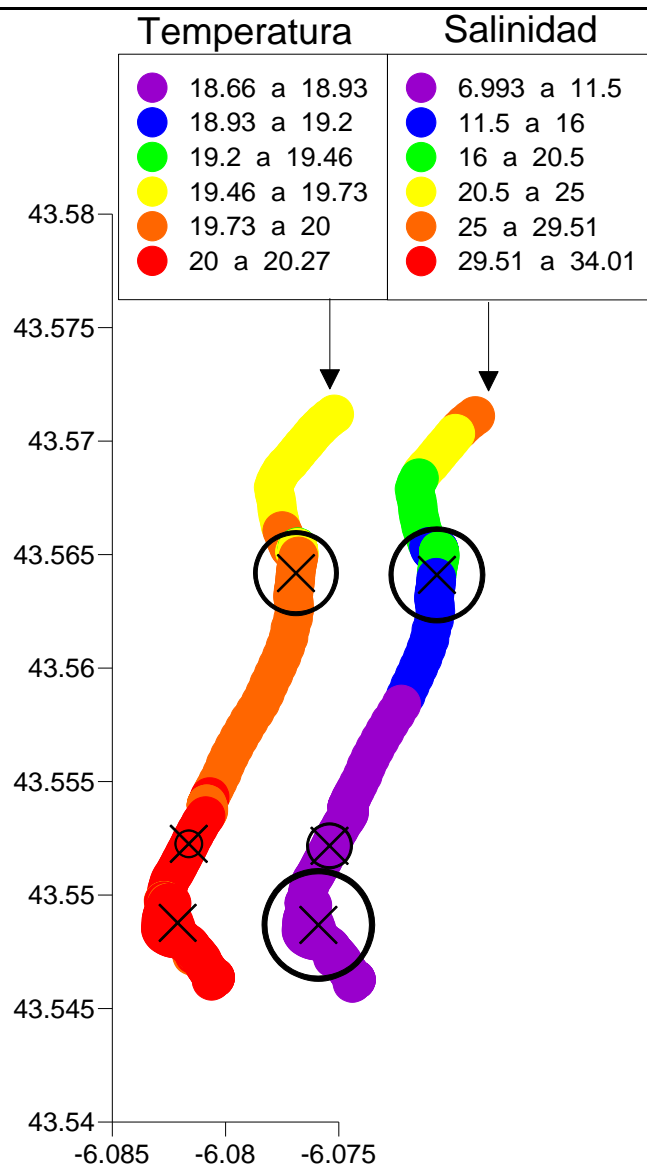


Figura 18c. Mismo transecto que en la figura 18a (estuario – Nalón – bajamar – julio) pero en este caso se representa la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de otras especies. La abundancia máxima corresponde a 8 huevos de otras especies por m^3 .

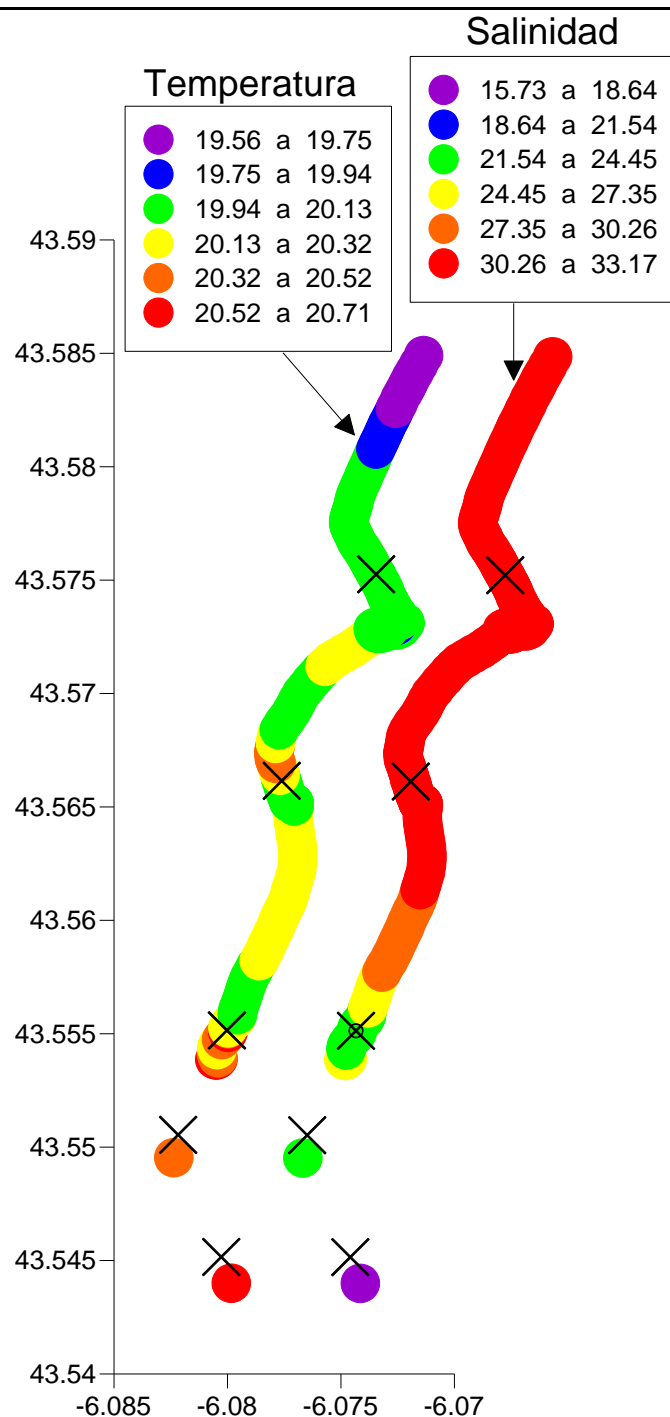


Figura 19a. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura y salinidad a lo largo del estuario del río Nalón durante la pleamar en el mes de julio. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y el de salinidad está desplazado hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de sardina en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. Las aspas indican la posición de las pescas. La abundancia máxima corresponde a 0.1 huevos de sardina por m^3 .

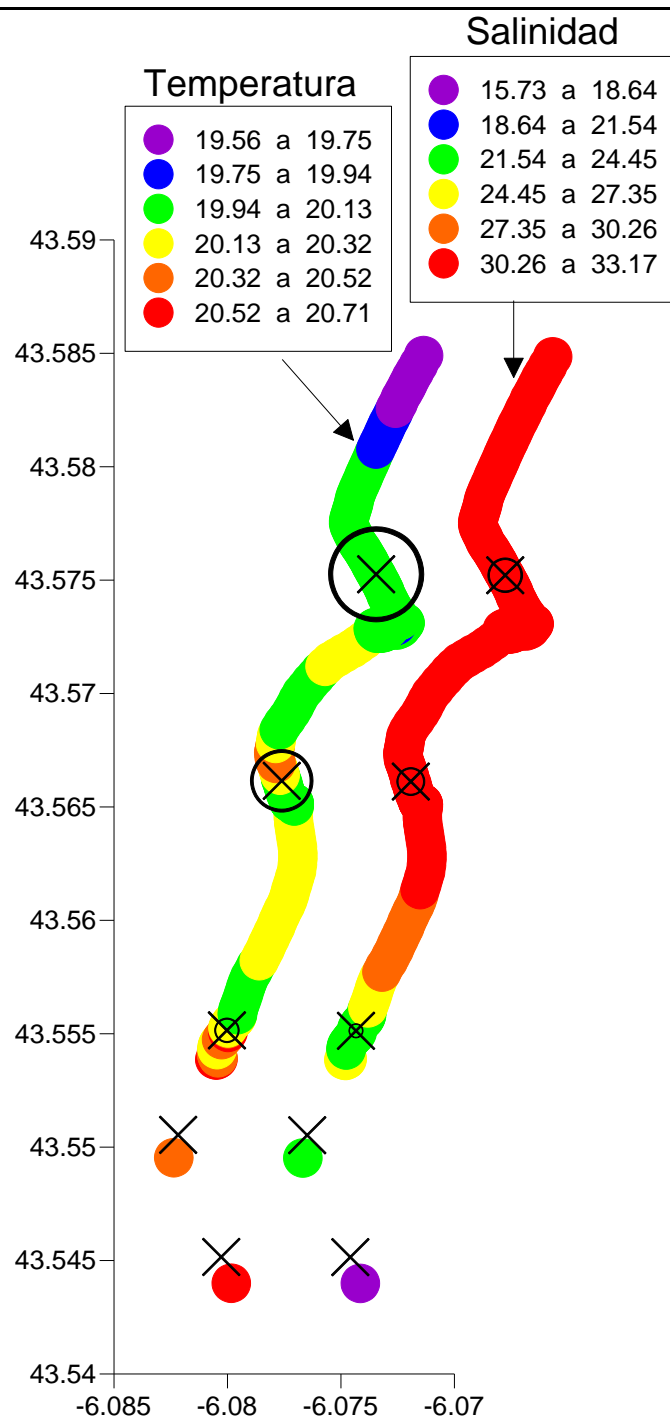


Figura 18b. Mismo transecto que en la figura 19a (estuario – Nalón – pleamar – julio) pero en este caso se representa la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de anchoa. La abundancia máxima corresponde a 3.9 huevos de anchoa por m^3 .

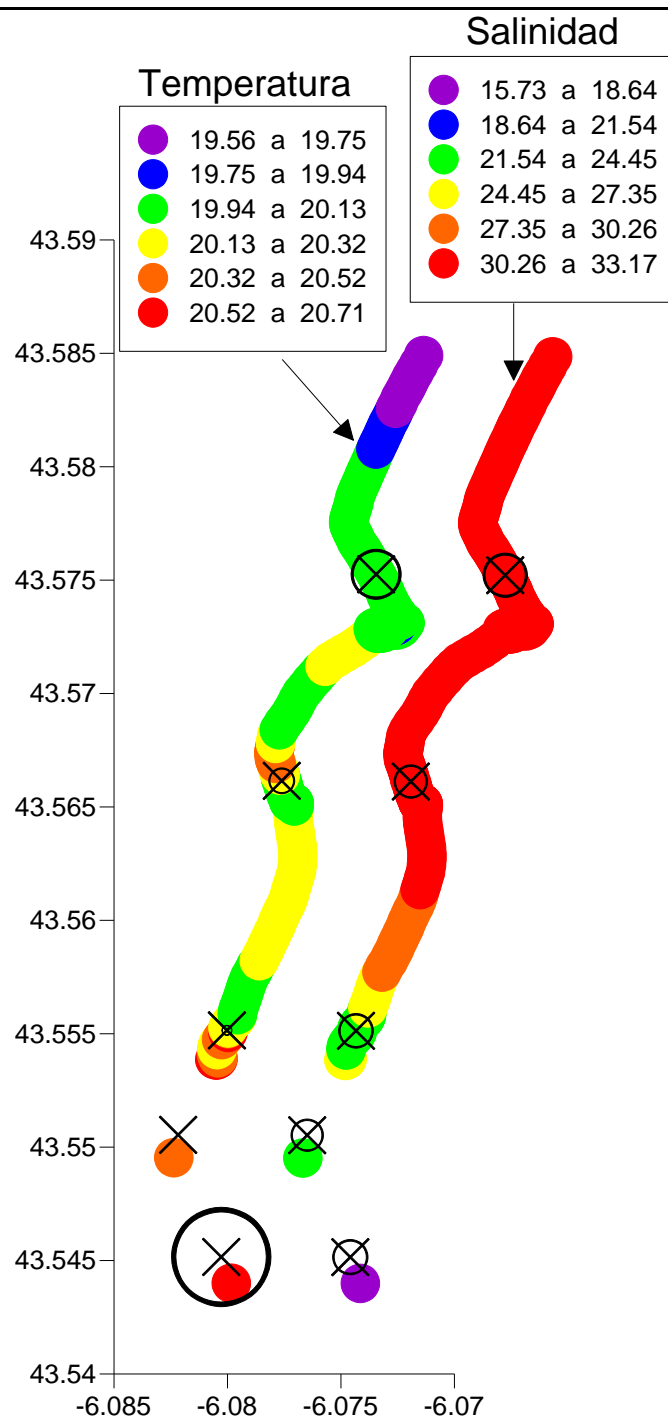


Figura 19c. Mismo transecto que en la figura 19a (estuario – Nalón – pleamar – julio) pero en este caso se representa la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima corresponde a 4.2 huevos de otras especies por m^3 .

Los muestreos realizados en la zona en bajamar y pleamar se realizaron los días 21 a las 05:50 GMT y 26 a las 14:50 GMT (Figuras 20 y 21) (Figura 14). No obstante los 5 días que median entre ambos muestreos, las condiciones oceanográficas observadas a lo largo del transecto fueron similares, lo que da una idea de la estabilidad de las condiciones meteorológicas / oceanográficas experimentadas durante la campaña de Julio. La estratificación térmica se intensificó respecto al muestreo de Mayo, con un gradiente de unos 4 °C entre la superficie y 20 m de profundidad durante la bajamar (Figura 20a). La estratificación fue ligeramente más intensa durante el muestreo en pleamar del día 26 (Figura 21a). La distribución de salinidad puso de manifiesto la presencia de la pluma del estuario en bajamar, aunque su influencia se limitó a las estaciones más costeras del transecto. Esta influencia se redujo significativamente durante la pleamar del día 26. La distribución de clorofila presentó marcadas diferencias entre la bajamar, caracterizada por valores prácticamente homogéneos y relativamente bajos de fluorescencia, y la pleamar, en la que se constató la presencia de máximos sub-superficiales en los que se alcanzaron valores de fluorescencia elevados. La concentración de oxígeno presentó un patrón marcadamente diferente del observado en Mayo. Las concentraciones más elevadas se observaron en una capa sub-superficial comprendida entre los 20 y 40 m de profundidad, y las más bajas en superficie, debido a una menor solubilidad del oxígeno asociada al incremento de temperatura en la capa superficial, y en el fondo, asociada a la ausencia de producción primaria y a los procesos de respiración y regeneración que tiene lugar a este nivel de la columna de agua. Este patrón de distribución fue similar en bajamar y pleamar.

La distribuciones de nitrato en bajamar (Figura 20b) y pleamar (Figura 21b) muestran un marcado gradiente vertical; la posición de la nitracina (i. e. isolínea de 2 μM) se localiza a unos 20 m de profundidad en las estaciones costeras y a unos 30 m en el extremo oceánico del transecto. El patrón de distribución de silicato es similar al de nitrato, si bien se aprecia la influencia de la pluma en las estaciones costeras. Para ambos nutrientes, la influencia de agua de plataforma durante la pleamar es apreciable como un incremento de la concentración de estos nutrientes en el fondo, especialmente en las estaciones exteriores del transecto. La influencia de los aportes de la pluma es apreciable en las distribuciones de amonio y fosfato en bajamar, caracterizadas por la disminución, en toda la columna de agua, de la concentración de estos nutrientes entre el extremo costero y el oceánico del transecto. En pleamar, la distribución de fosfato mantiene, aunque disminuido, el gradiente costa-océano, si bien el patrón dominante es el vertical, especialmente en el extremo oceánico. Por el contrario, el amonio exhibe una distribución vertical prácticamente homogénea, excepto en por los valores relativamente altos que exhibe en superficie en las estaciones costeras.

Se observó la presencia de huevos de sardina en las posiciones más costeras durante la bajamar (Figura 20a), pero no en la pleamar (Figura 21a). La abundancia de huevos de anchoa fue superior a la de sardina. En bajamar, la abundancia máxima observada fue de 7.8 huevos·m⁻³ a unos 3 km de la bocana del estuario, si bien su presencia fue detectada a lo largo de todo el transecto. En pleamar, la abundancia máxima disminuyó (4.2 huevos·m⁻³) aunque su distribución a lo largo del transecto se hizo más homogénea. La distribución de larvas de estas especies se asemejó a la de los huevos: se detectaron larvas de sardina en la parte interna en bajamar, pero no en pleamar, y se detectaron larvas de anchoa en la zona interna en bajamar y todo a lo largo del transecto en pleamar. En cuanto a otras especies de peces, se detectaron huevos a lo largo de todo el transecto, con valores máximos de 261 huevos·m⁻³ en la zona interna en bajamar (Figura 20b) y de 70.6 huevos·m⁻³ en pleamar (Figura 21b). Se observaron además larvas, preferentemente en la parte interna tanto en bajamar como en pleamar.

Las condiciones hidrográficas y las distribuciones de ictioplancton en la parte interna del estuario se muestran en la Figura 22 y 23 para las situaciones de bajamar y pleamar respectivamente. Durante la bajamar, entre la bocana (aprox. en 43.535°N) y la parte interna del estuario (hasta 'Caleru',

aprox. en 43.5°N), la temperatura y la fluorescencia se incrementaron entre 21 y 23 °C y entre 2.1 y 6.6 (en unidades relativas de fluorescencia, u. r. F) respectivamente y la salinidad disminuyó, entre 34 y 24. La variación fue progresiva, por lo que no se aprecia una zona frontal nítida en la que se produzca un cambio brusco de las propiedades. Durante la pleamar, como resultado de la entrada de agua costera y de plataforma, el gradiente entre la bocana y la parte interna del estuario (hasta las instalaciones de 'El Gaitero', aprox. en 43.495°N) se acentúa para temperatura y fluorescencia (entre 19 y 23.5 °C y entre 1.9 y 11.2 u. r. F respectivamente), mientras que disminuye para la salinidad (entre 36 y 32).

Se detectaron huevos y larvas de anchoa, pero no de sardina, tanto en bajamar (Figura 22a) como en pleamar (Figura 23a). Las concentraciones más elevadas tanto de huevos como de larvas se localizaron en la bocana en bajamar, y hacia la zona media-interna durante la pleamar. En cuanto a otras especies de peces, durante la bajamar se detectó una abundancia elevada de huevos en la bocana, y de larvas tanto en la bocana como en la parte media del estuario (Figura 22b). Durante la pleamar (Figura 23b), se incrementaron tanto las concentraciones de huevos como de larvas, distribuyéndose de forma homogénea entre la bocana y la parte interna del estuario.

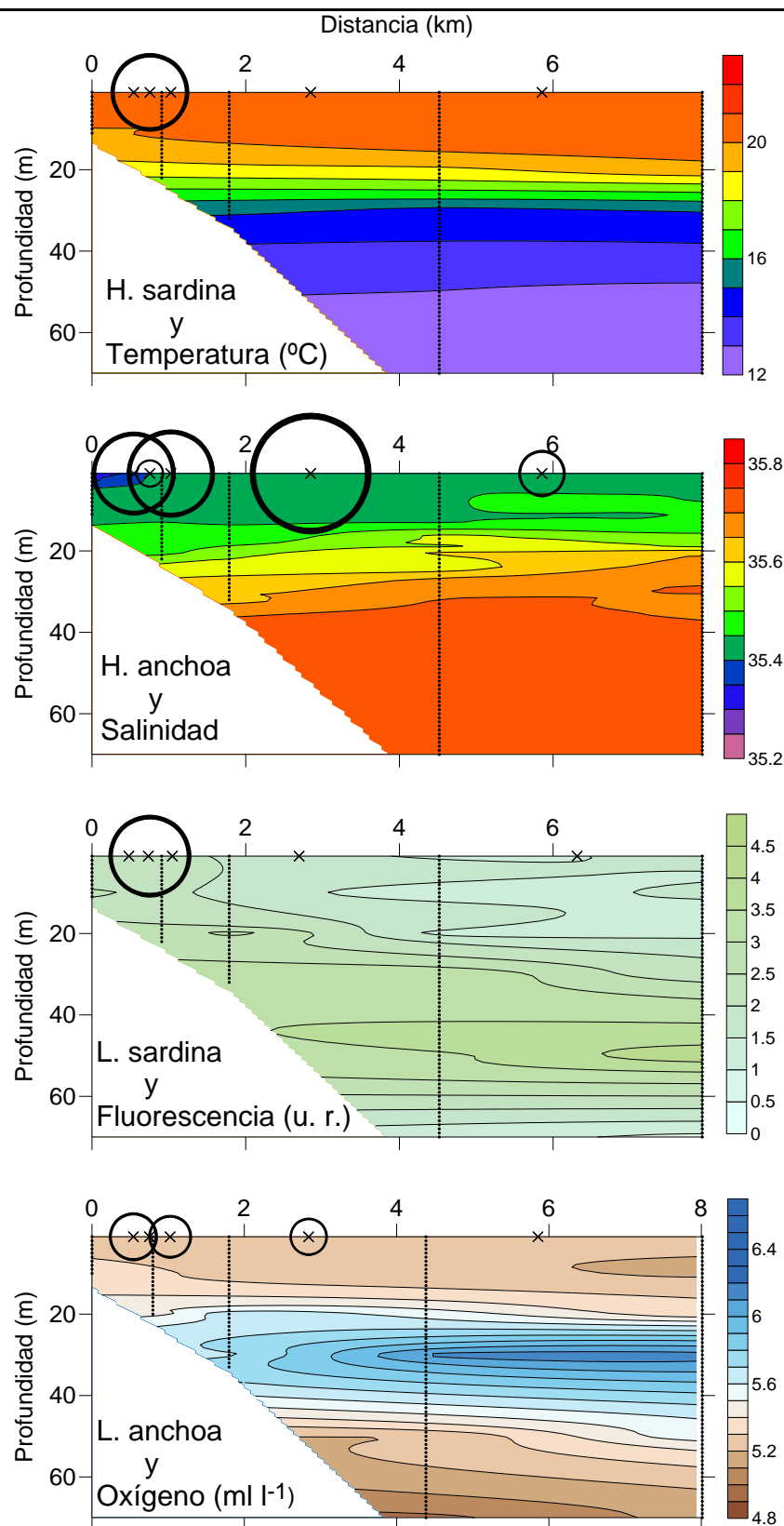


Figura 20a. Transecto costa-océano frente a la desembocadura de la Ría de Villaviciosa durante la bajamar en el mes de julio. Distribución vertical de temperatura, salinidad, concentración de fluorescencia y concentración de oxígeno, y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoa. El círculo de mayor área corresponde a una abundancia de 7,8 huevos de anchoa m⁻³. La posición de las dos pescas más costeras (realizadas al Este y al Oeste de la desembocadura) está proyectada sobre la línea que une la estación de CTD realizada frente a la desembocadura con la estación más

alejada de la costa.

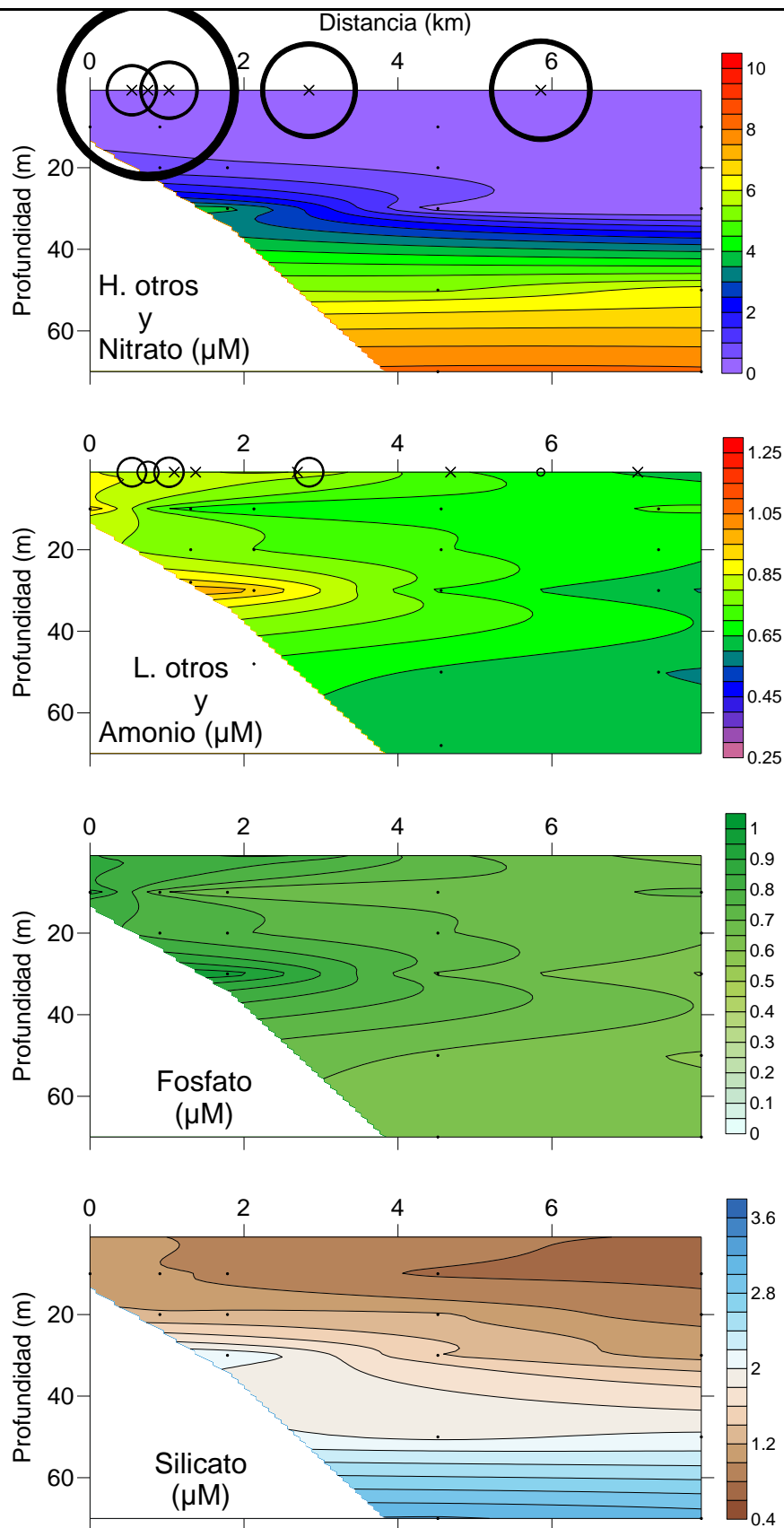


Figura 20b. Mismo transecto que en la figura 20a (Villaviciosa – bajamar – julio) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 261 huevos de otras especies por m^3 .

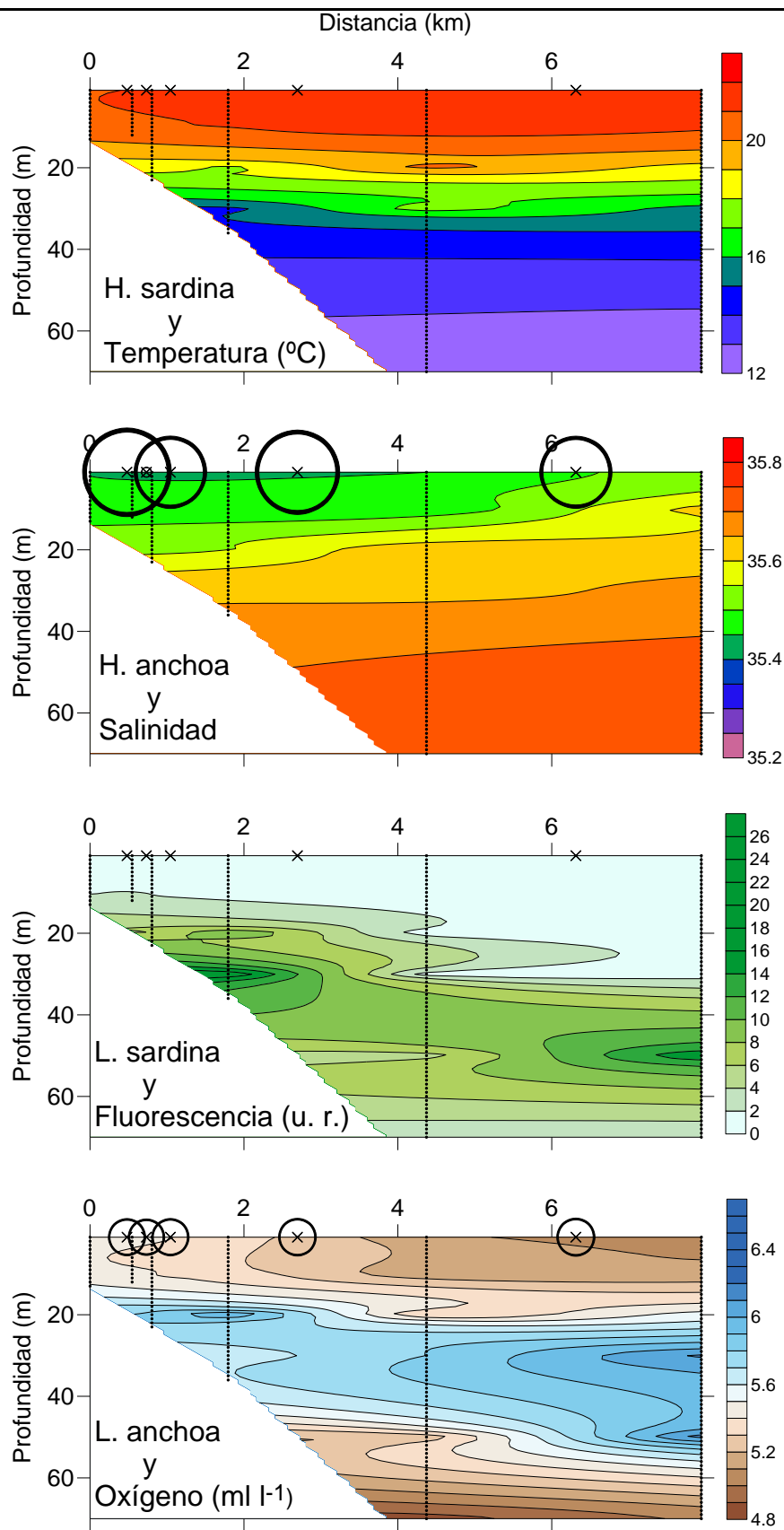


Figura 21a. Transecto costa-océano frente a la desembocadura de la Ría de Villaviciosa durante la pleamar en el mes de julio. Se representan las mismas variables que en la figura 13a. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 4,2 huevos de anchoa por m³.

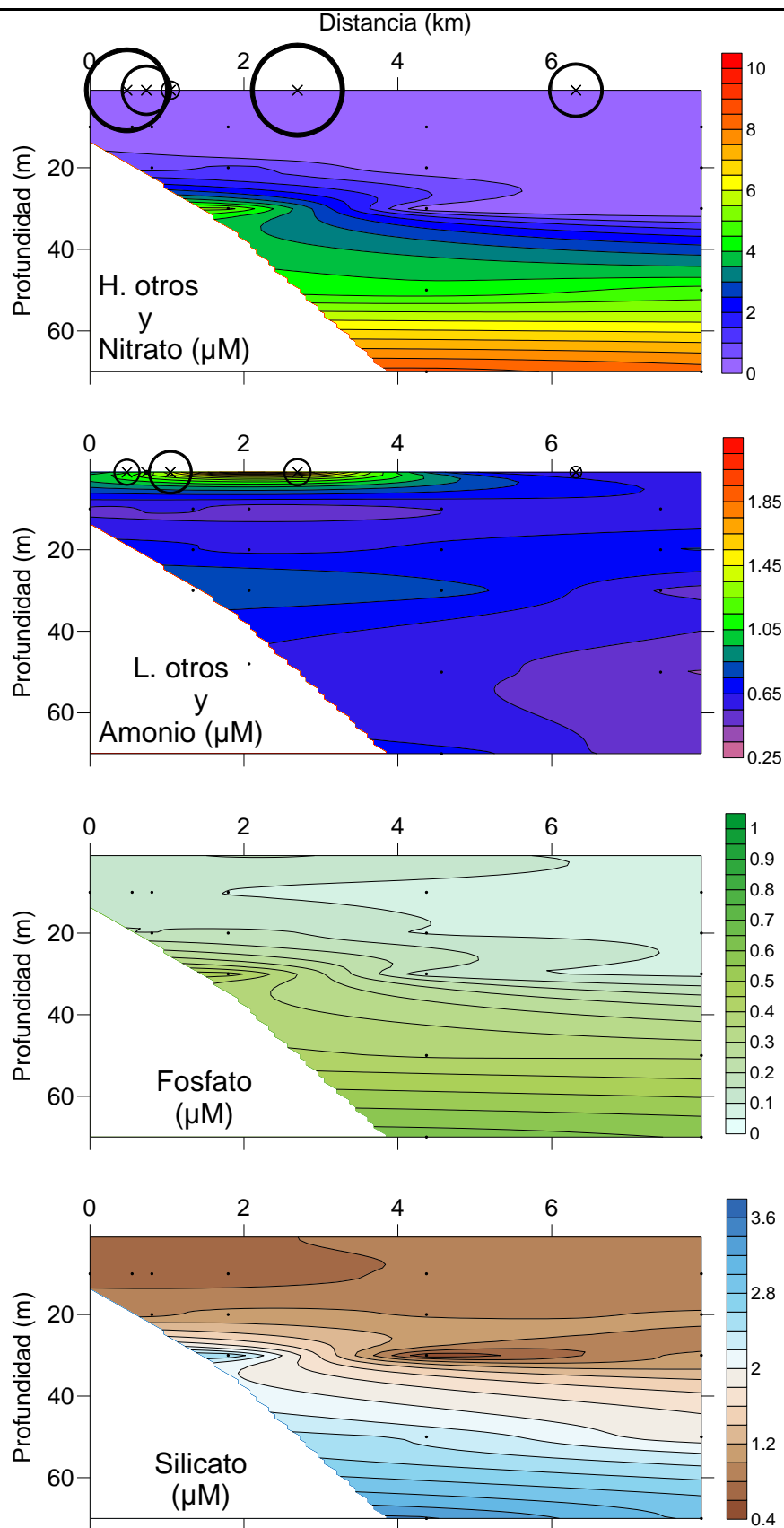


Figura 21b. Mismo transecto que en la figura 21a (Villaviciosa – pleamar – julio) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 70.6 huevos de otras especies por m^3 .

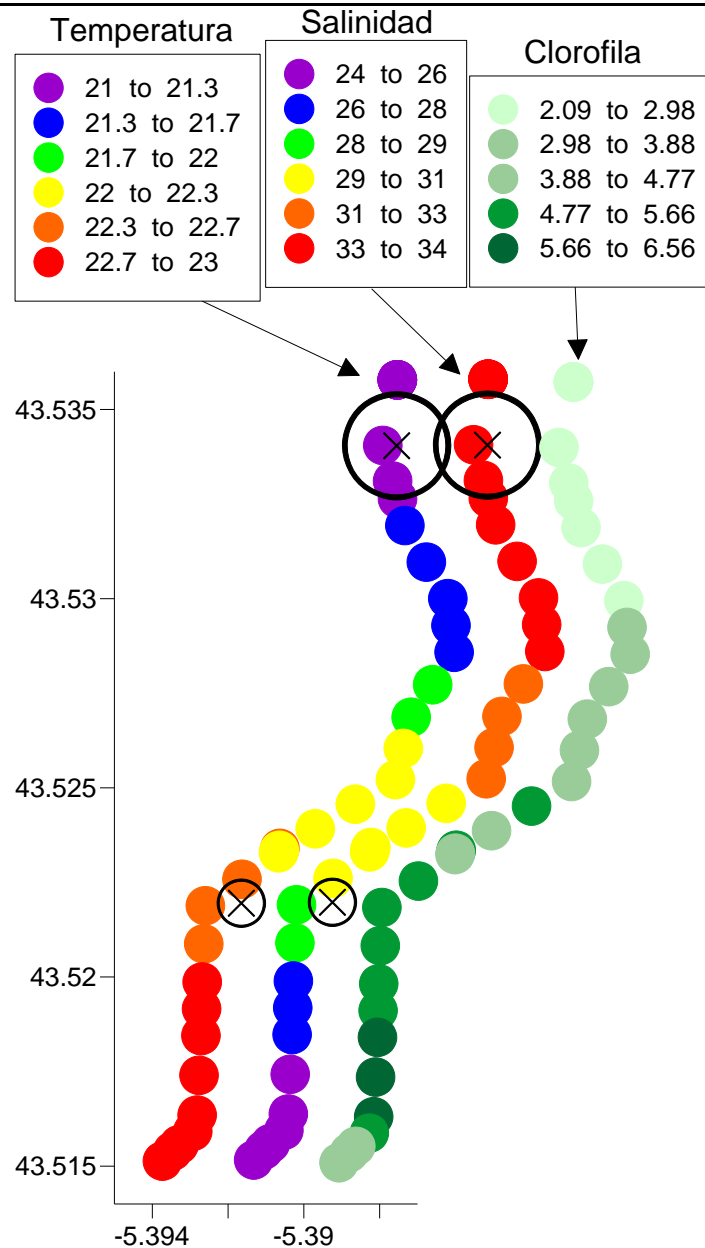


Figura 22a. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura, salinidad y fluorescencia a lo largo de la Ría de Villaviciosa durante la bajamar en el mes de julio. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y los de salinidad y fluorescencia están desplazados hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de anchoa en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. La abundancia máxima corresponde a 5 huevos y larvas de anchoa por m^3 .

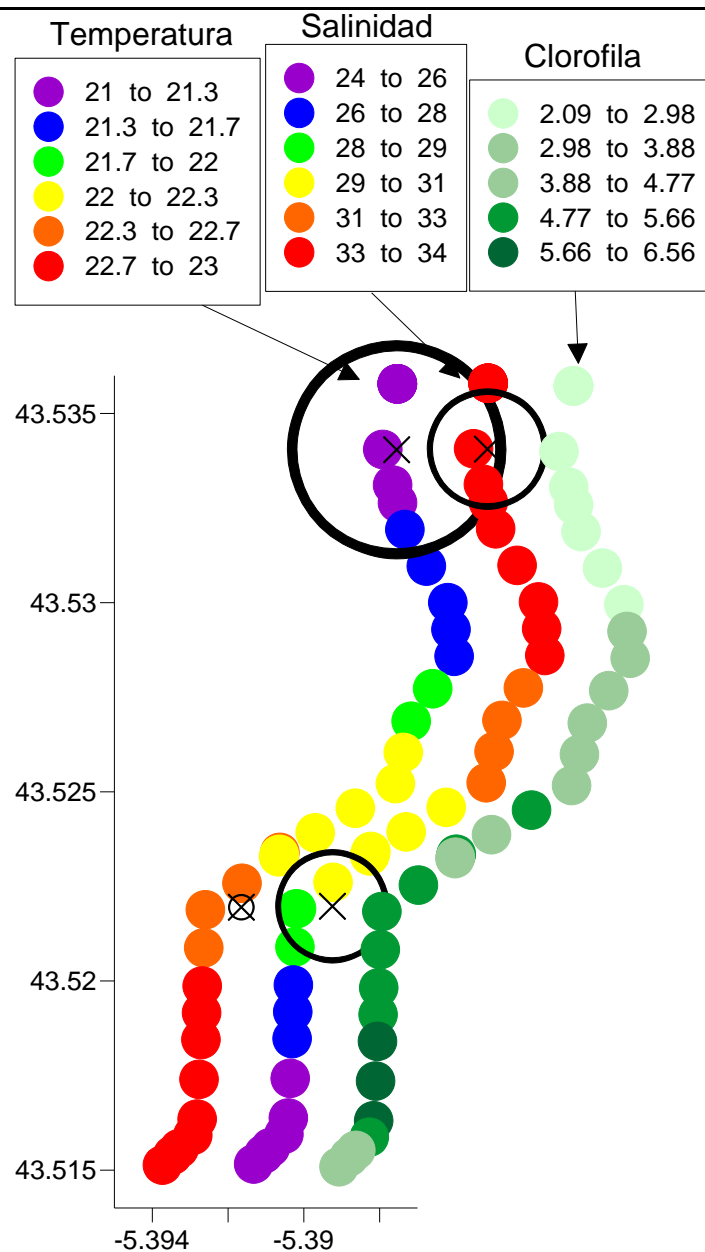


Figura 22b. Mismo transecto que en la figura 22a (estuario – Villaviciosa – bajamar – julio) pero en este caso se representa la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de otras especies de peces. La abundancia máxima corresponde a 2032 huevos de otras especies por m^3 .

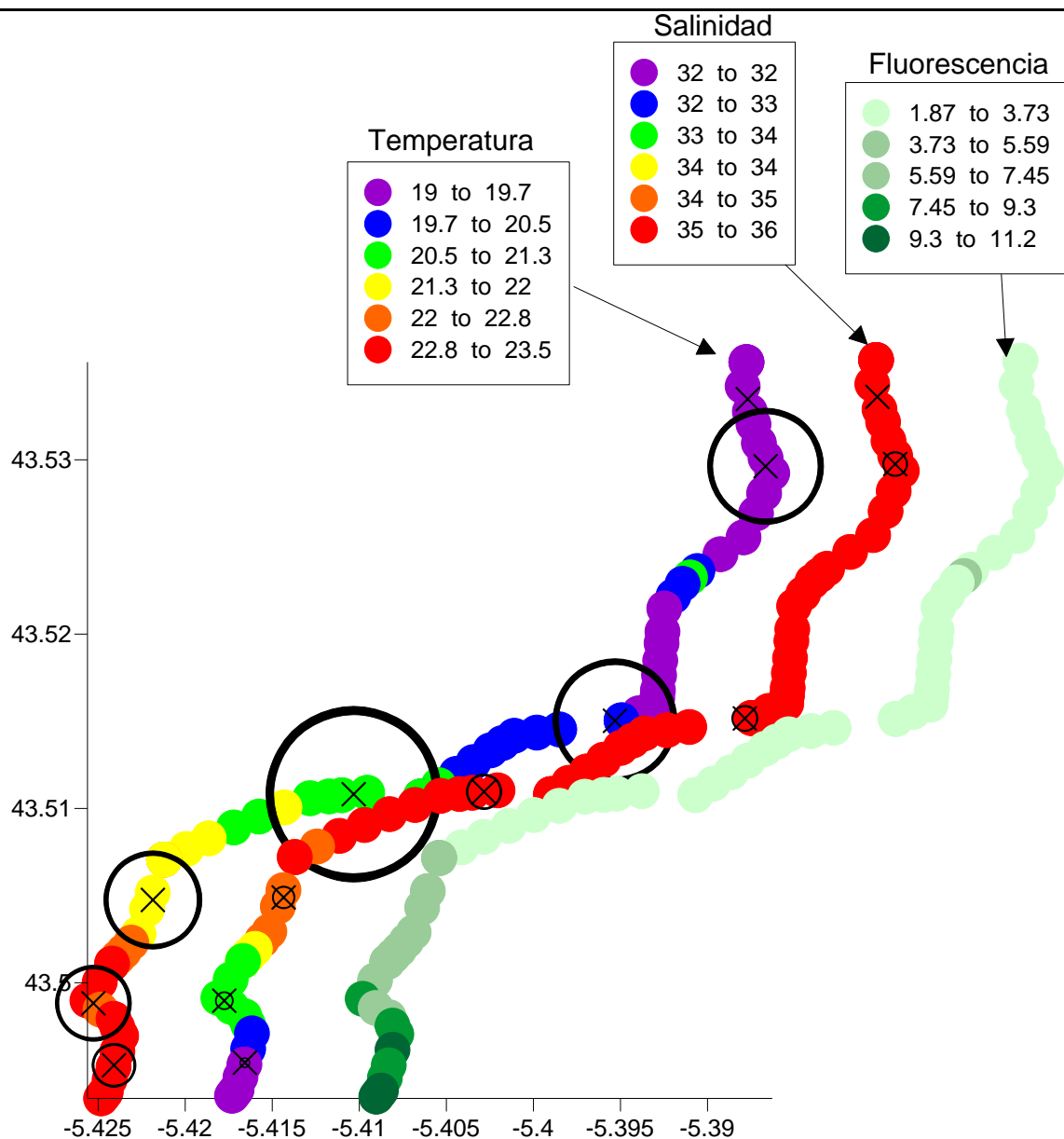


Figura 23a. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura, salinidad y fluorescencia a lo largo de la Ría de Villaviciosa durante la pleamar en el mes de julio. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y el de salinidad está desplazado hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de anchoa en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. Las aspas indican la posición de las pescas. La abundancia máxima corresponde a 0.9 larvas de anchoa por m^3 .

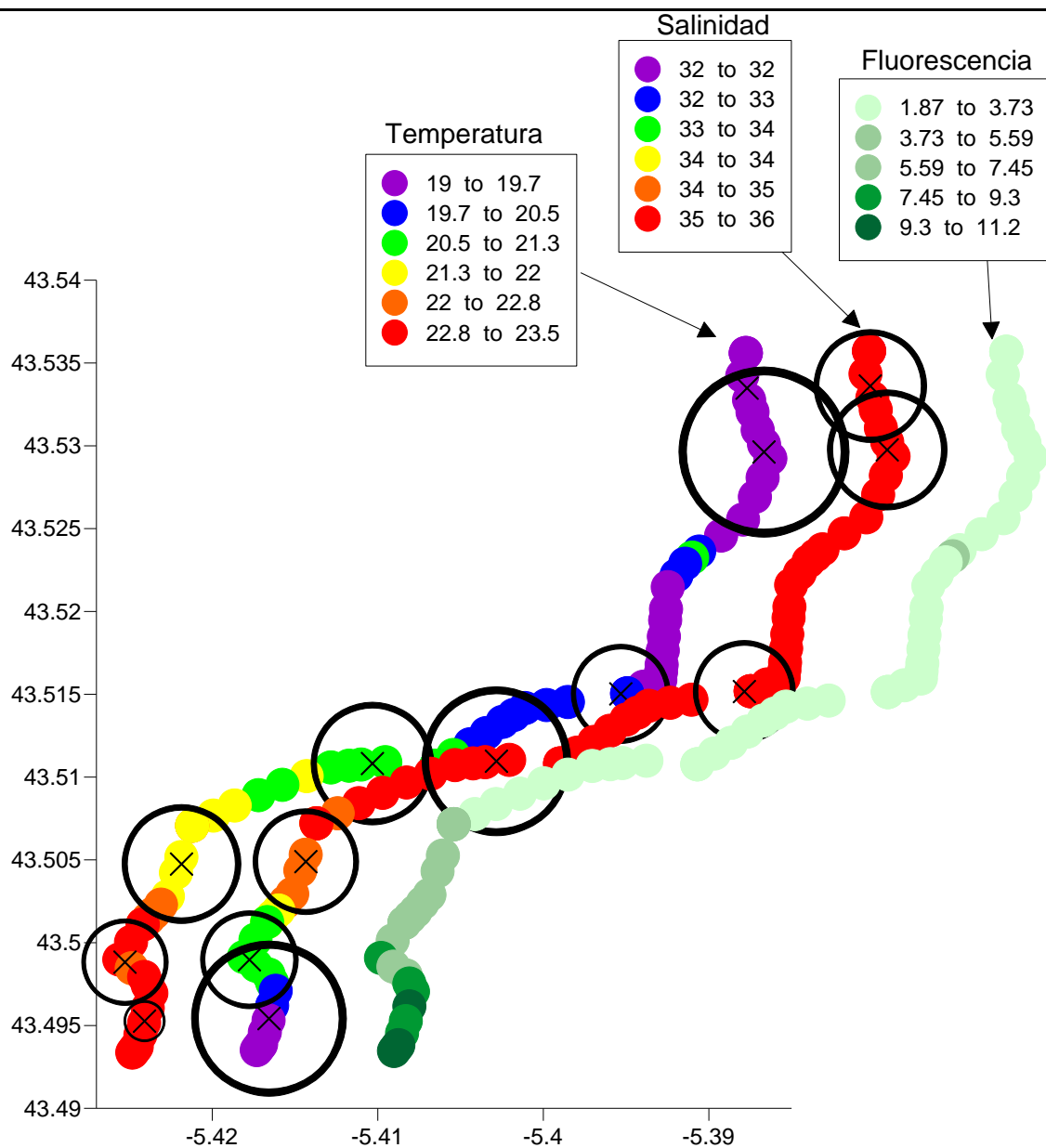
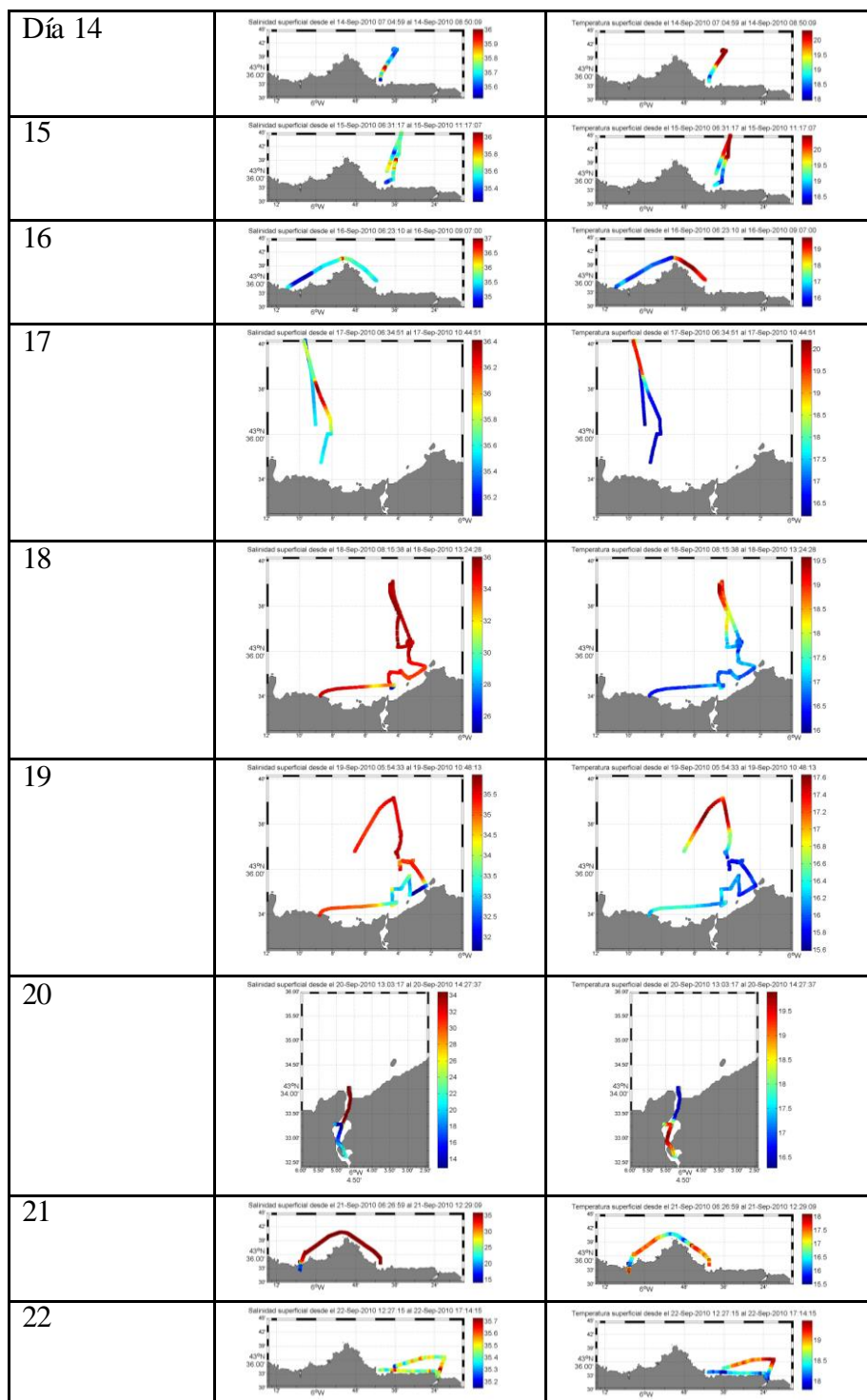
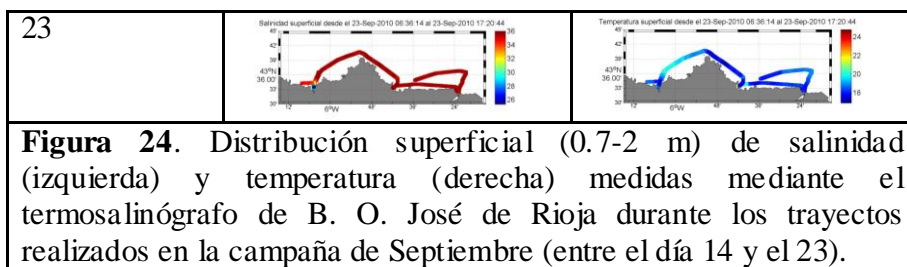


Figura 23b. Mismo transecto que en la figura 23a (estuario – Villaviciosa – pleamar – julio) pero en este caso se representa la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de otras especies de peces. La abundancia máxima corresponde a 16.7 huevos de otras especies por m^3 .

Septiembre

La salinidad superficial presentó el rango más estrecho de variación de las tres campañas, con valores comprendidos entre 35.5 y 36 en la mayor parte de la zona de muestreo (Figura 3). Valores de salinidad superficial <33 se registraron sólo en el interior de los estuarios, extendiéndose ligeramente hacia la zona costera en las proximidades del Nalón. La temperatura superficial exhibió el rango de variación más amplio de los tres periodos analizados, entre 15 y 22 °C. Se aprecia además un marcado incremento de temperatura de la costa hacia la parte media de la plataforma continental que da lugar a la formación de una serie de frentes térmicos.





La secuencia de las operaciones llevadas a cabo durante la campaña de Septiembre (EcoAnchoa-AS0910) se muestran en la Figura 24. El muestreo realizado en las proximidades del Nalón evidencia la mayor influencia de la pluma durante la bajamar, que extiende hasta las proximidades de Cabo Peñas (día 19, 07:40 GMT), que en pleamar (día 18, 11:20 GMT). También se aprecia la existencia de un marcado frente térmico localizado hacia la parte media de la plataforma, tanto en pleamar como en bajamar, si bien en este último caso se observa un significativo descenso general de la temperatura superficial asociado a la mayor influencia de la pluma. Dentro del estuario (días 20 y 21 para la pleamar y la bajamar respectivamente), durante la pleamar se aprecia la entrada de agua costera en la parte exterior, dando lugar a la formación de un marcado frente halino y térmico (menor salinidad y mayor temperatura hacia la parte interna del estuario. En bajamar, dicho frente se desplazó hacia la bocana del estuario. En las proximidades de Villaviciosa (día 22, 13:58 GMT; día 23, 08:03 GMT para la pleamar y bajamar respectivamente), se apreció la presencia del frente térmico entre la zona costera y la zona intermedia de la plataforma y la menor extensión e intensidad de la pluma de Villaviciosa respecto a la del Nalón.

Nalón

Las condiciones hidrográficas durante la bajamar (Figura 25a) ponen de manifiesto la presencia de la pluma y su influencia sobre la distribución de las variables biogeoquímicas analizadas. La pluma se extendió unos 3 km mar adentro respecto a la posición de la estación más costera, presentando en la zona interna un marcado gradiente vertical hasta unos 8 m de profundidad. La temperatura presentó una diferencia de aproximadamente 1 °C entre los extremos costero (más frío) y oceánico, y un gradiente vertical de apenas 0.5 °C entre superficie y 20 m de profundidad en la zona interna del transecto, y de unos 1.5 °C en la zona externa. Los valores de fluorescencia más elevados se registraron en la capa superficial y en el extremo oceánico. La distribución de oxígeno disuelto se asemeja a la distribución de fluorescencia, con valores relativamente elevados (ca. 6 ppm) en la capa superficial, que disminuyen con la profundidad alcanzando concentraciones < 5 ppm cerca del lecho submarino. Durante la pleamar (Figura 26a) se aprecia la entrada de agua costera y de plataforma, caracterizada por presentar valores de temperatura y salinidad más elevados. Por efecto de esta entrada, se desplaza hacia el interior el frente de la pluma y se reduce el gradiente vertical de ésta. La distribución de fluorescencia y oxígeno disuelto evidencian también este efecto: los valores de fluorescencia y de concentración de oxígeno disuelto se vuelven relativamente más elevados en la parte interna del transecto respecto a los observados durante la bajamar.

Las concentraciones de nitrato, fosfato y silicato en bajamar mostraron un patrón de distribución similar, caracterizado por el incremento costa-oceánico y con la profundidad (Figura 25b). Las zonas de máximo gradiente se encuentran, en uno y otro caso, en el frente de la pluma (ca. 3 km de la bocana) y a unos 20 m de profundidad en el extremo oceánico. El amonio presenta el mismo patrón costa-oceánico, pero en el extremo oceánico las concentraciones son bajas y en toda la columna de agua, y en el costero se observan máximos en superficie asociados a la pluma y cerca del lecho submarino. En pleamar (Figura 26b), la entrada de agua de plataforma se evidencia por la disminución de la concentración en superficie y la consiguiente reducción de la intensidad del gradiente costa-oceánico. El silicato es el nutriente que mejor traza la retracción del frente de la

pluma. El amonio difiere de este patrón por el máximo sub-superficial en la estación oceánica, si bien hay que tener en consideración que éste se debe a una única muestra recogida a $z = 20$ m.

La boya perfiladora permaneció fondeada entre los días 18 y 23 (Figura 24). Durante este periodo se apreciaron dos situaciones contrastadas si atendemos a la evolución de los perfiles de temperatura, salinidad y fluorescencia (Figura 27). Entre los días 18 y 20, la estratificación térmica fue moderada, se observaron pulsos de baja salinidad, más acusados durante los periodos de bajamar, y los valores de fluorescencia se mantuvieron relativamente elevados en los primeros 10-15 m de la columna de agua. A partir del día 21, la estratificación térmica se intensificó, siendo máxima en periodos de bajamar (posición de la isoterma 16.5°C entre ca. 20 y 10 m de profundidad), la pluma se ciñó a los ca. 3 primeros metros, y la fluorescencia presentó máximos por debajo de la superficie, acoplados a las oscilaciones de la termoclina, si bien disminuye progresivamente hacia el final del fondeo. Los valores de transmitancia muestran picos al inicio y final del periodo de observación.

Se detectaron huevos y larvas de sardina, tanto en bajamar (Figura 25a) como en pleamar (Figura 26b), pero en muy bajas concentraciones, y práctica ausencia de huevos y larvas de anchoa (apenas presencia de huevos en la estación exterior en pleamar, Figura 26b). En cuanto a otras especies, se observaron huevos en todas las estaciones muestreadas en bajamar (Figura 25b) y, en concentraciones superiores, en pleamar (Figura 26b). La abundancia de larvas fue significativamente inferior a la de huevos, excepto en la estación exterior durante la pleamar.

La variación de las condiciones hidrográficas en el estuario del Nalón en bajamar se muestra en la Figura 28. Entre la bocana (aprox. en 43.570°N) y la parte media-interna del estuario (hasta 'El Castillo', aprox. en 43.545°N), la temperatura presentó un incremento progresivo moderado (entre 16.7 y 17.6°C) mientras que la salinidad descendió progresivamente pero de forma relativamente más acusada (entre 23.6 y 14.3). Durante la pleamar (Figura 29), se mantuvo el patrón de variación, pero la entrada de agua costera y de plataforma tiene como resultado el incremento de los gradientes (entre 16.3 y 19.9°C para temperatura, y entre 34.4 y 12.9 para salinidad) y el establecimiento de una zona frontal de máximo gradiente termo-halino a la altura de la entrada al puerto de Muros del Nalón (aprox. en 43.555°N).

No se detectaron ni huevos ni larvas de sardina y anchoa en la bajamar. Los huevos y larvas de otras especies de peces (Figura 28) se distribuyeron a todo lo largo del estuario, si bien en concentraciones relativamente bajas en comparación con las observadas para este componente del ictioplancton en los otros periodos del año muestreados. En pleamar, sin embargo, sí se detectaron huevos de sardina, mayormente en la bocana (Figura 29a). En esta situación de marea, la abundancia de huevos de otras especies se incrementó (Figura 29b), observándose además un gradiente de concentración descendente entre la bocana y la parte interna del estuario. La concentración de larvas, sin embargo, descendió respecto a la situación de bajamar.

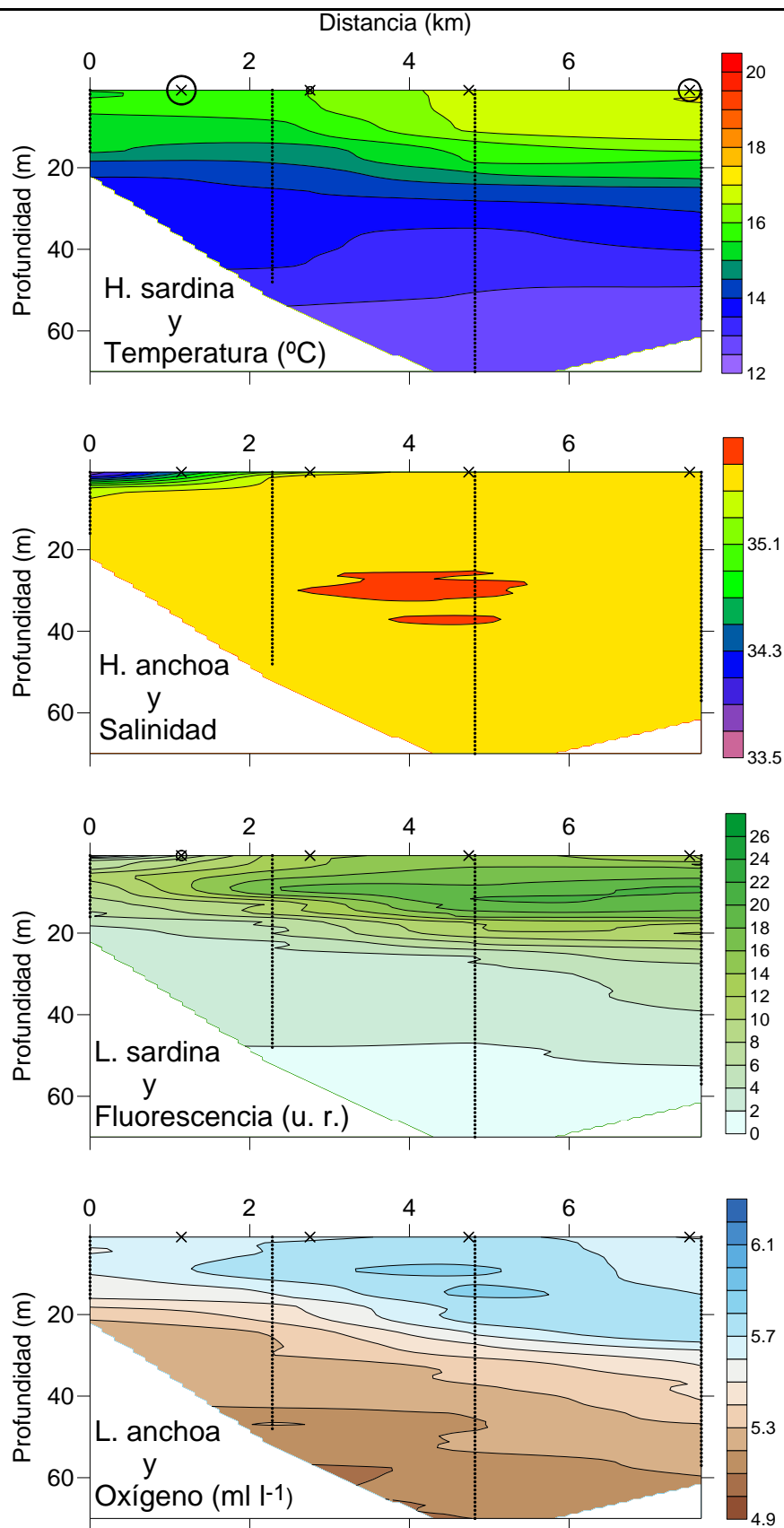


Figura 25a. Distribución vertical de temperatura, salinidad, fluorescencia y concentración de oxígeno, y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoa (círculos; individuos m⁻³) a lo largo de un transecto costa-oceano frente a la desembocadura del Nalón durante la bajamar en el mes de septiembre. La abundancia máxima corresponde a 0.5 huevos de sardina por m³.

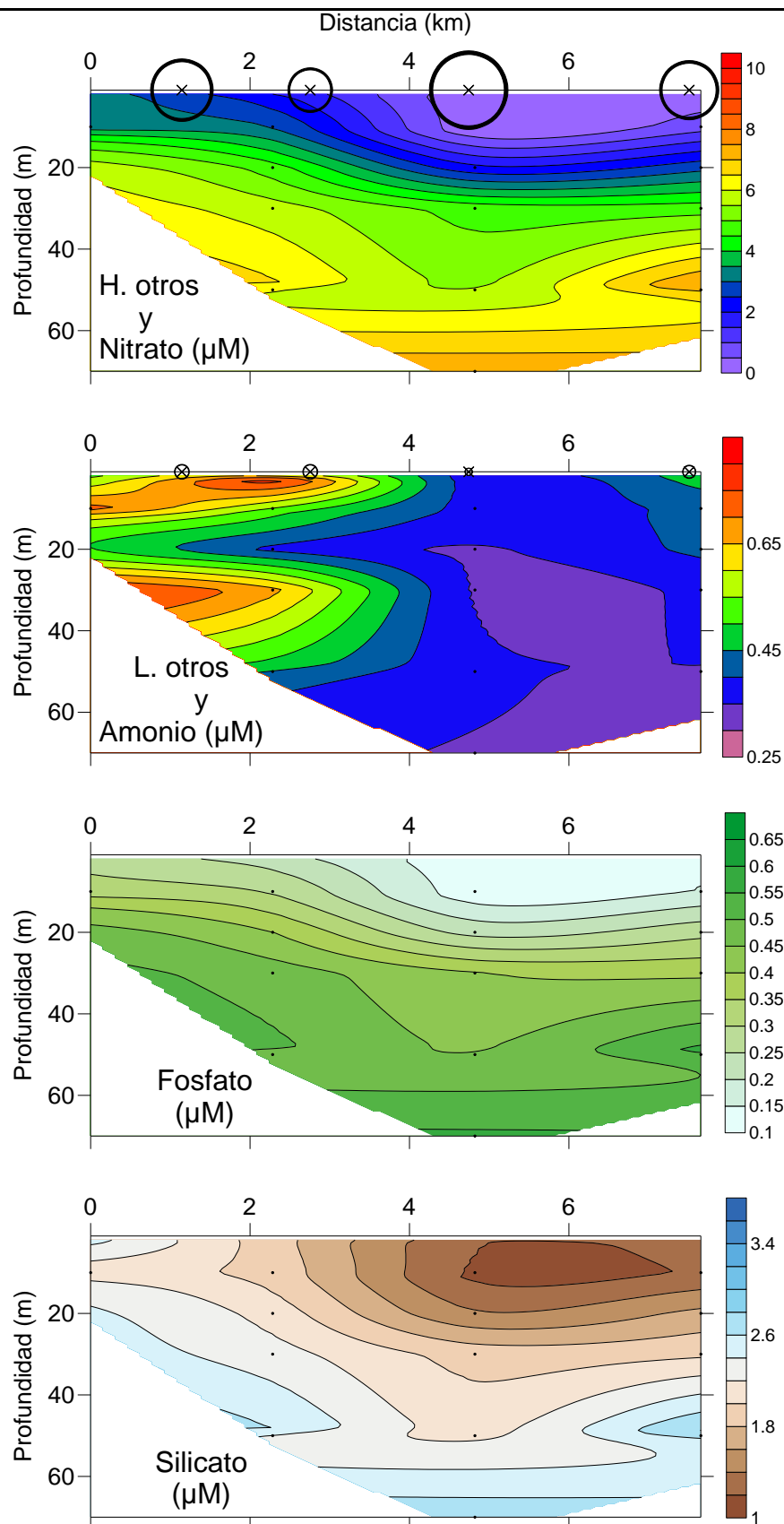


Figura 25b. Mismo transecto que en la figura 25a (Nalón – bajamar – septiembre) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 3.3 huevos de otras especies por m^3 .

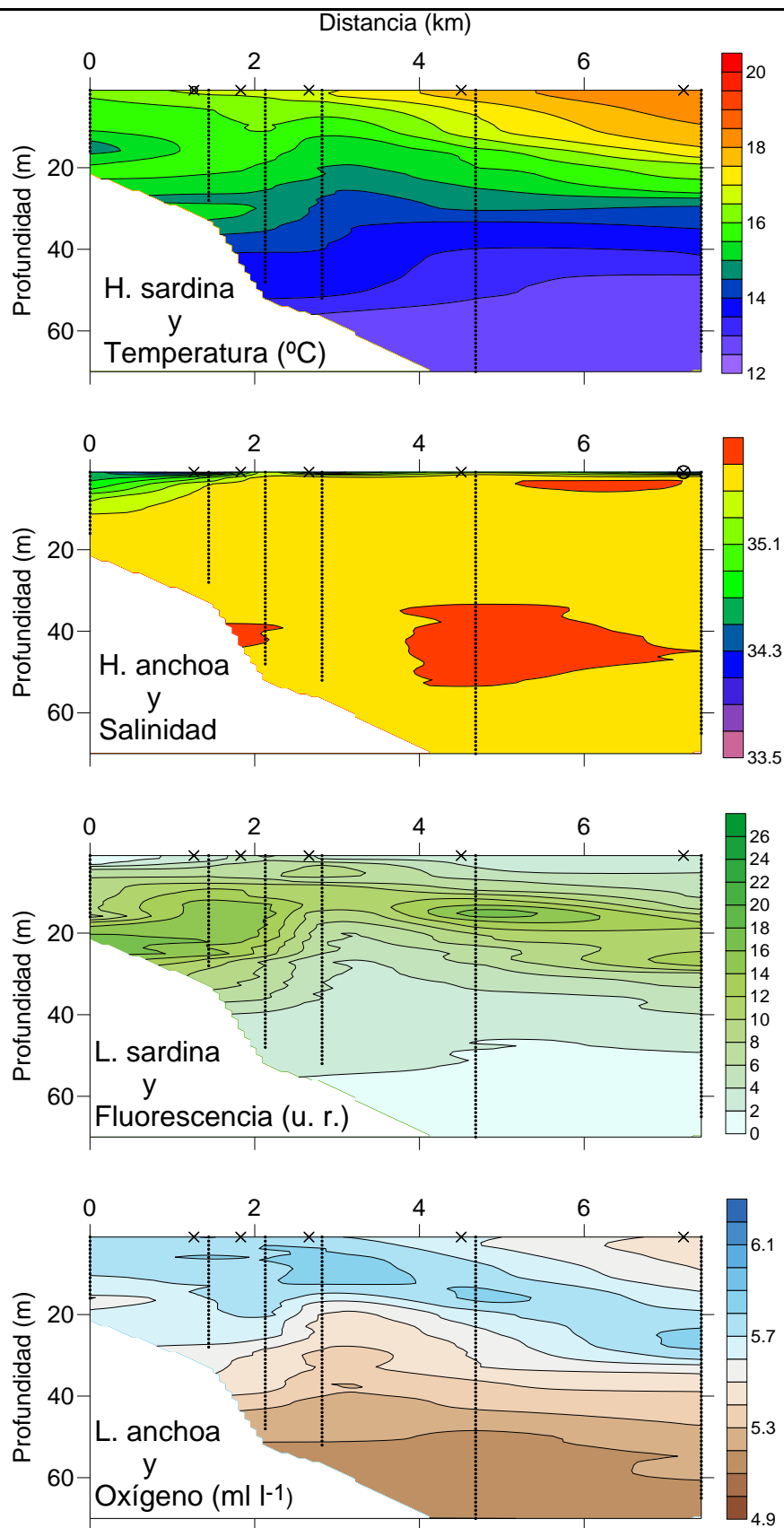


Figura 26a. Distribución vertical de temperatura, salinidad, fluorescencia (u. r., unidades relativas) y concentración de oxígeno, y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoa (círculos; individuos m^{-3}) a lo largo de un transecto costa-océano frente a la desembocadura del Nalón durante la pleamar en el mes de septiembre. La abundancia máxima corresponde a 0.1 huevos de anchoa por m^3 .

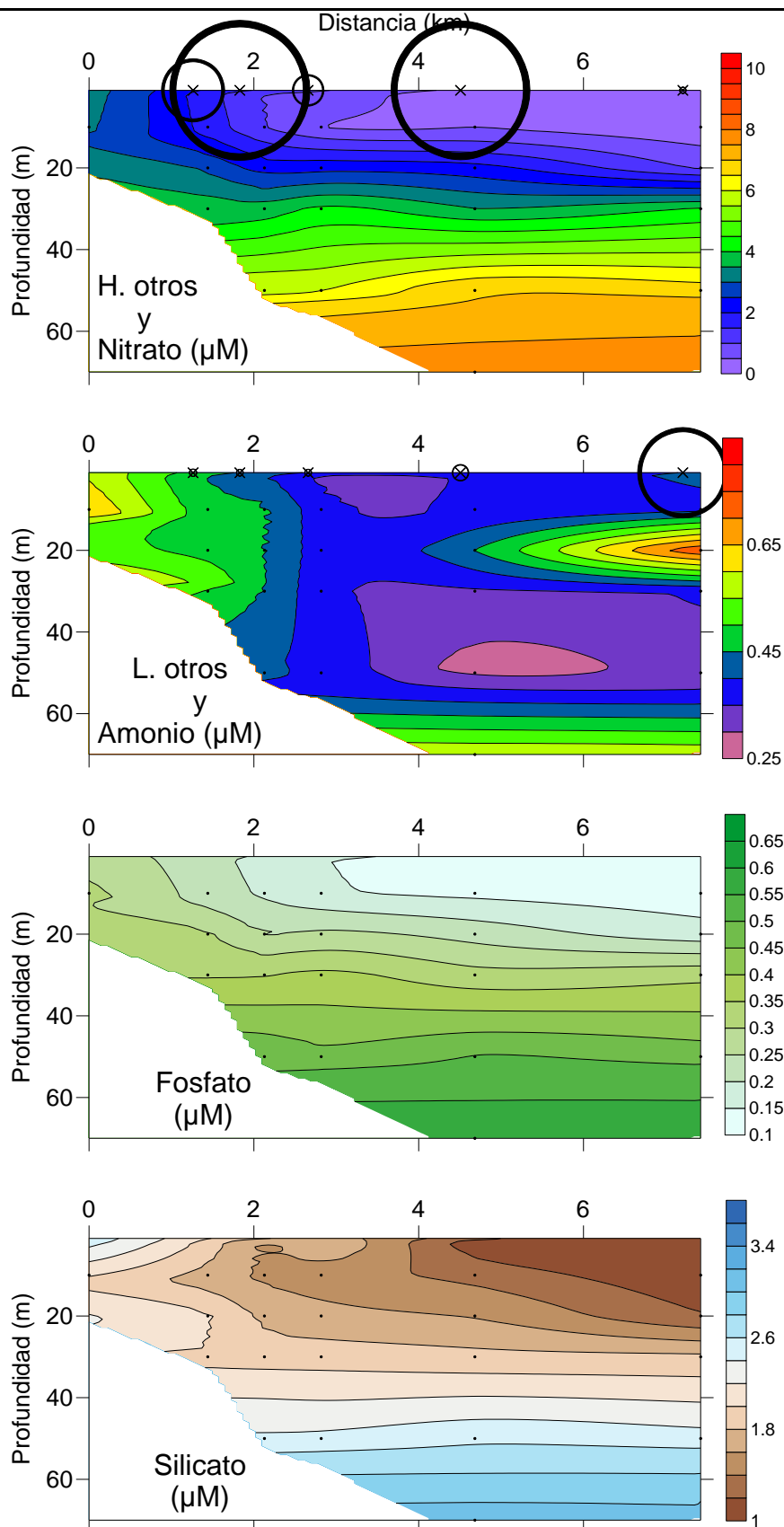


Figura 26b. Mismo transecto que en la figura 26a (Nalón – pleamar – septiembre) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 10.4 huevos de otras especies por m^3 .

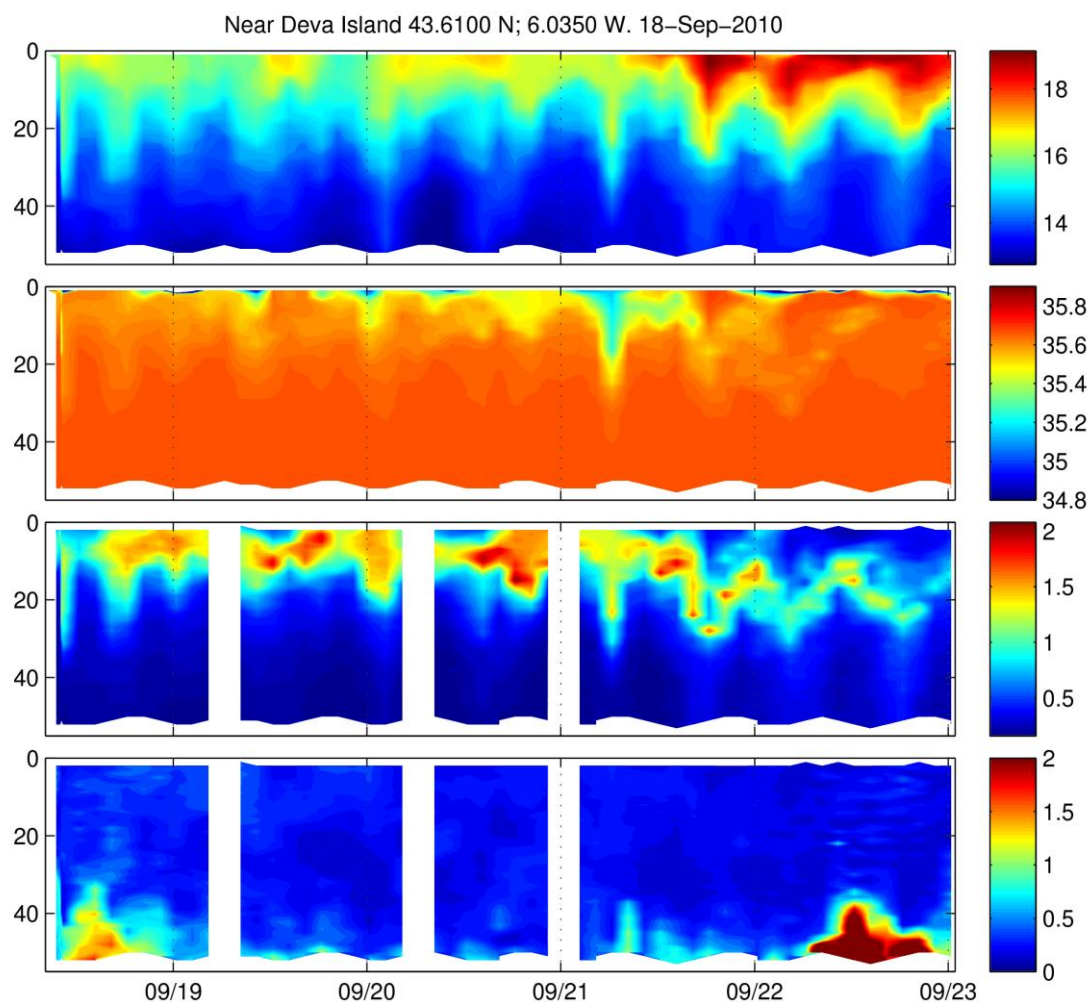


Figura 27. Perfiles (de arriba a abajo) de temperatura, salinidad, fluorescencia y transmitancia llevados a cabo mediante la boya perfiladora autónoma (AMP) en las proximidades del estuario del Nalón entre el 19 y el 24 de septiembre.

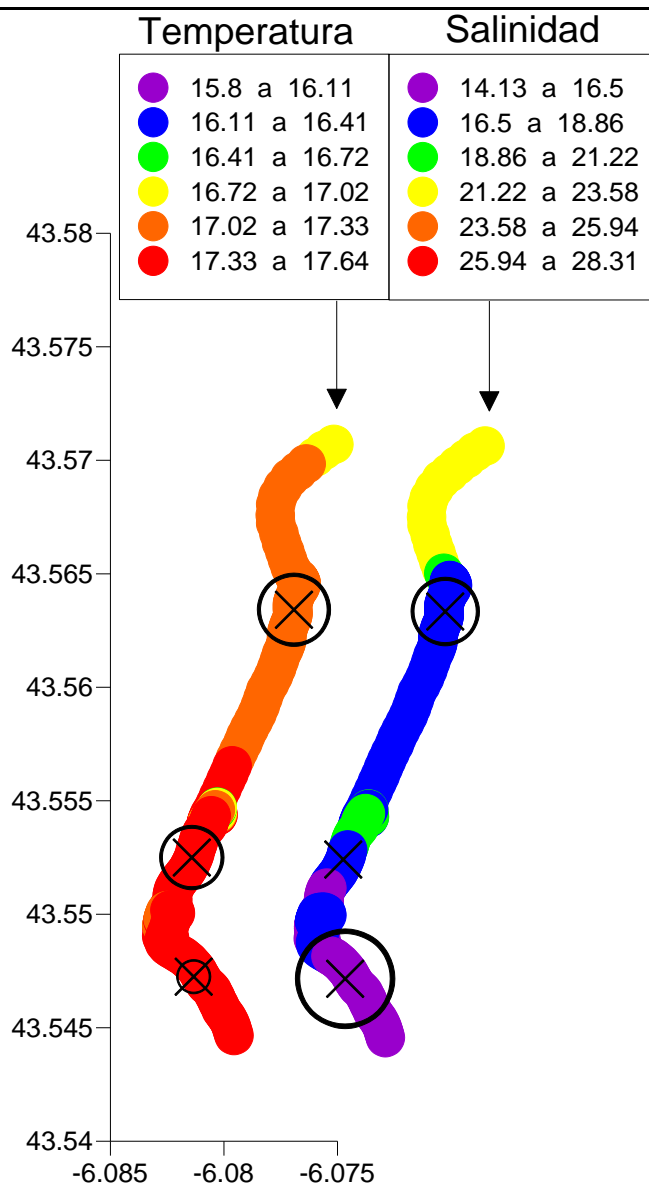


Figura 28. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura y salinidad a lo largo del estuario del río Nalón durante la bajamar en el mes de septiembre. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y el de salinidad está desplazado hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de otras especies en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. Las aspas indican la posición de las pescas. La abundancia máxima corresponde a 0.4 larvas de otras especies por m^3 .

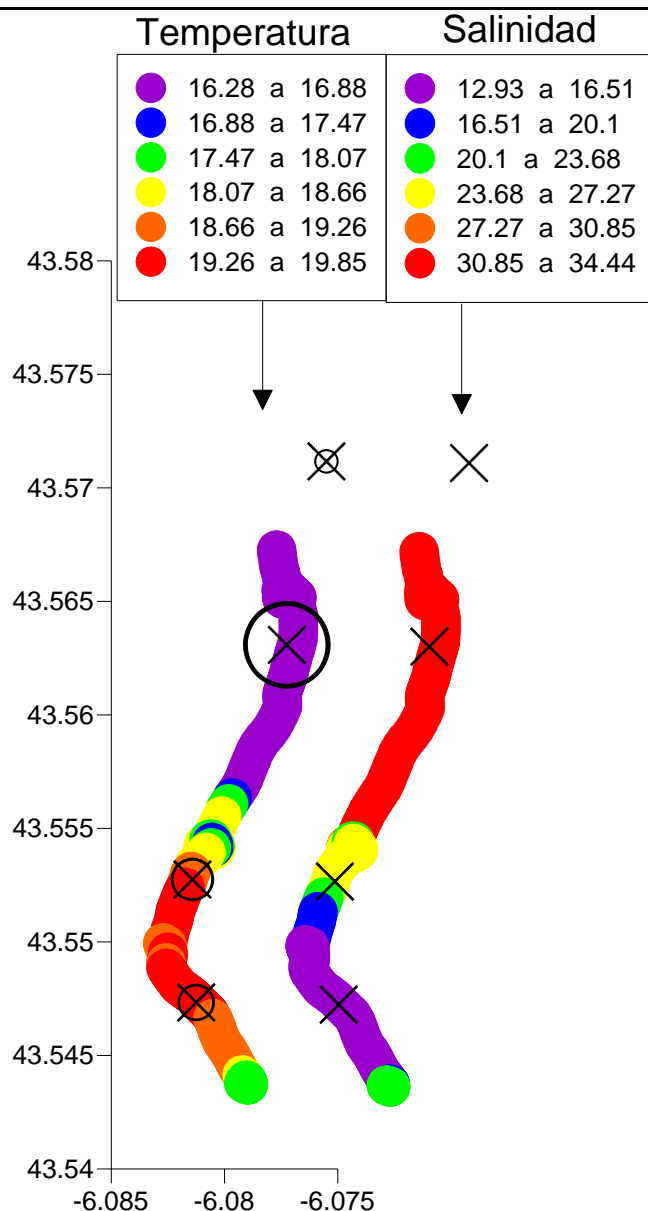
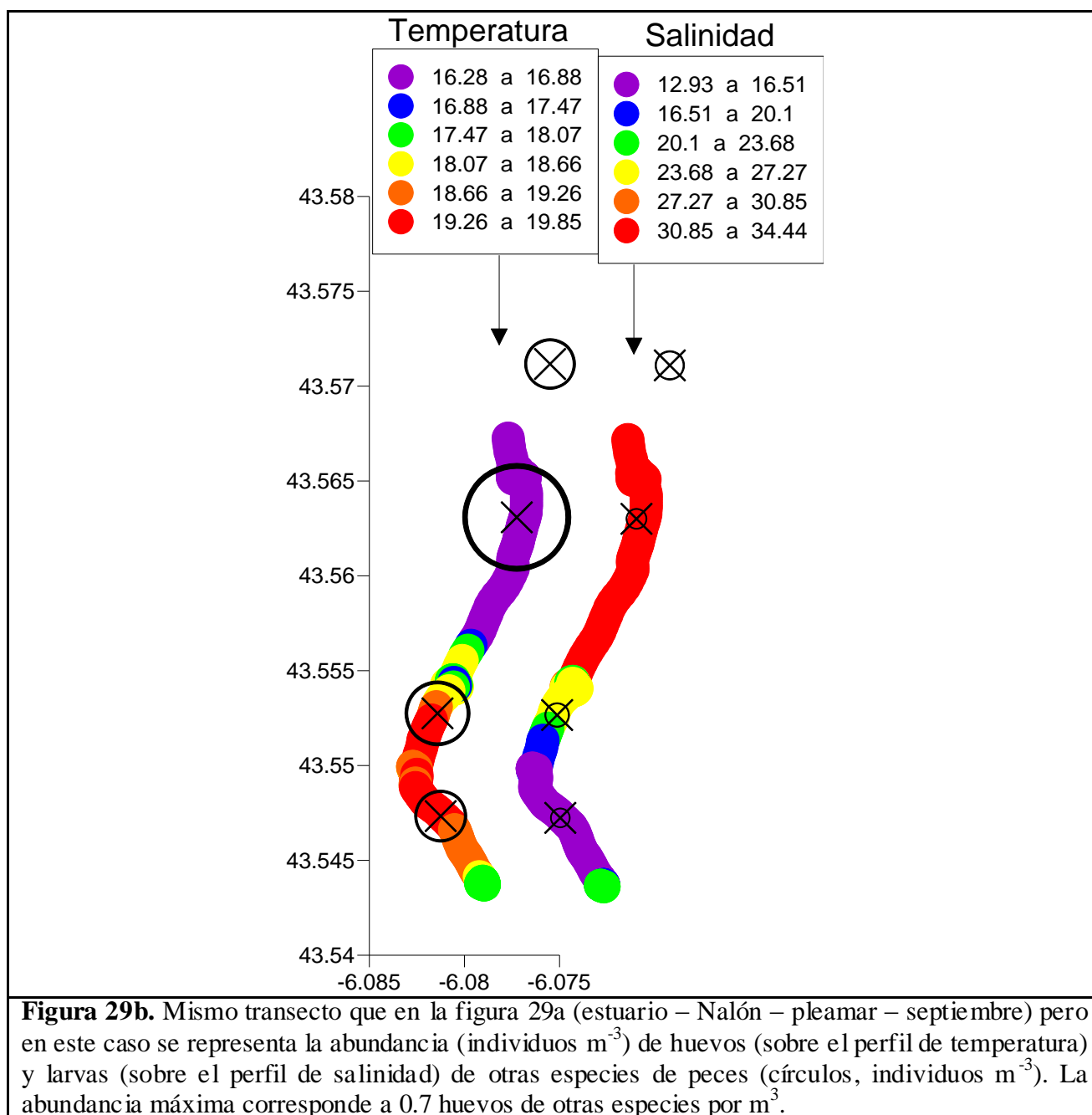


Figura 29a. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura y salinidad a lo largo del estuario del río Nalón durante la pleamar en el mes de septiembre. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y el de salinidad está desplazado hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de sardina en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. Las aspas indican la posición de las pescas. La abundancia máxima corresponde a 3.2 huevos por m^3 .



Villaviciosa

Los patrones de distribución de las propiedades termohalinas se asemejan a los observados en el Nalón, si bien los gradientes de temperatura costa-océano y vertical son más intensos (en torno a 1.5 °C entre la bocana y 6 km mar adentro y 2.5 °C entre la superficie y $z = 20$ en la estación exterior), y la intensidad de la pluma es menor. Las distribuciones fueron similares en bajamar (Figura 30a) y pleamar (Figura 31a). En ambas situaciones, la fluorescencia alcanzó los valores más elevados en la capa sub-superficial, con valores máximos que superan a los observados en los muestreos de mayo y julio. El oxígeno disuelto presentó los valores más elevados coincidentes con el máximo sub-superficial de clorofila, y los más bajos cerca del fondo sobre el lecho submarino y asociados a la pluma en bajamar.

Las distribuciones de nitrato, fosfato y silicato en bajamar muestran un marcado gradiente vertical (Figura 30b). Las clinas de estos nutrientes (isolíneas de 2, 0.2 y 1 respectivamente) se hacen más profundas hacia el extremo oceánico, localizándose en torno a 20 m en la bocana y 40 m en la estación exterior. En la pleamar (Figura 31b), la entrada de agua de plataforma promueve el hundimiento de las clinas, que se sitúan en torno a 40 m a lo largo de mayor parte del transecto. Se observa también un incremento de la concentración cerca del fondo en costa. El amonio presenta en bajamar máximos sub-superficiales cerca del fondo a la altura de la bocana y en el extremo oceánico. La distribución es más homogénea durante la pleamar.

No se detectaron huevos ni larvas de sardina o anchoa en bajamar (Figura 30a) o pleamar (Figura 31a). En cuanto a otras especies de peces, se detectaron huevos a lo largo del transecto durante la bajamar (Figura 30b), y en menor abundancia y concentrados en la zona costera durante la pleamar (Figura 31b). Se detectaron larvas, pero en concentraciones significativamente menores que las observadas en las campañas de mayo y julio.

En el interior del estuario de Villaviciosa se apreció un marcado gradiente de las propiedades termohalinas y fluorescencia entre la bocana (aprox. en 43.535°N) y la parte interna accesible con la embarcación destinada al efecto, que en bajamar se localizó en las proximidades de ‘El Picu’ (aprox. en 43.515°N) (Figura 32) y en pleamar a la altura de las instalaciones de ‘El Gaitero’ (aprox. en 43.495°N) (Figura 33). En bajamar, tanto la temperatura como la salinidad y la fluorescencia se mantuvieron en un rango de variación estrecho a lo largo del estuario (en torno a 17.3°C, entre 34.8 y 29.2, y entre 1.1 y 2.4 u. r. de fluorescencia respectivamente). Durante la pleamar, la distribución de temperatura y fluorescencia fue similar a la observada en bajamar. El efecto de la entrada de agua oceánica y de plataforma es ostensible sólo para la salinidad: entre la bocana y ‘El Picu’ (tramo común muestreado en las dos situaciones de marea), la salinidad se incrementó significativamente hasta situarse entre 34.8-35.6.

No se observaron ni huevos ni larvas de anchoa y sardina. La abundancia de huevos y larvas de otras especies fue relativamente baja en comparación con la observada en los periodos precedentes. En bajamar, el máximo de abundancia de huevos y larvas se localizó en la parte media del estuario, cerca de ‘El Picu’ (aprox. en 43.525°N) (Figura 32). En pleamar, disminuyó la abundancia de huevos, y se observó un pico de larvas localizado en la misma zona que en bajamar.

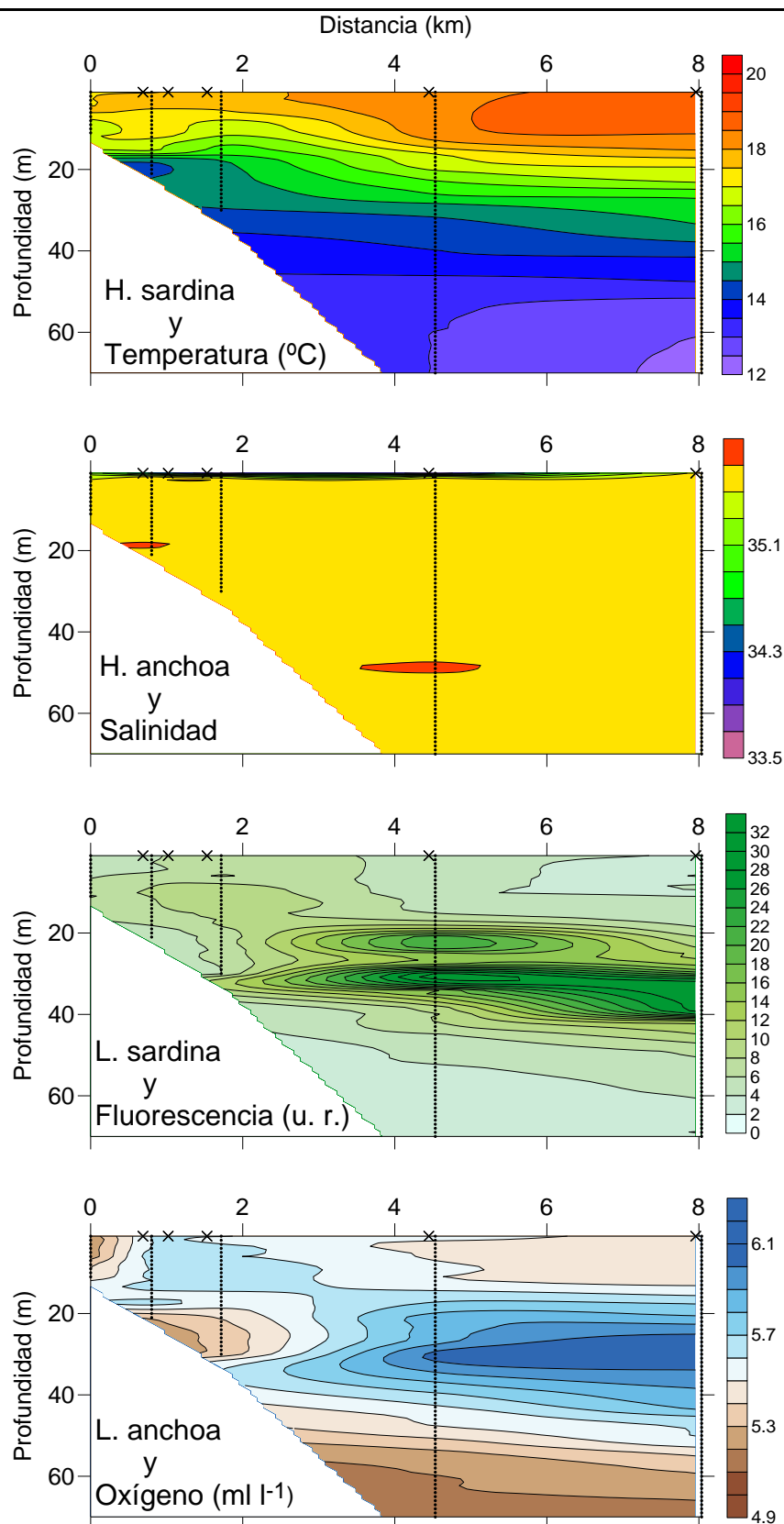


Figura 30a. Distribución vertical de temperatura, salinidad, fluorescencia y concentración de oxígeno, y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoa (círculos; individuos m^{-3}) a lo largo de un transecto costa-océano frente a la desembocadura de la Ría de Villaviciosa durante la bajamar en el mes de septiembre. No se observaron huevos o larvas de sardina o anchoa.

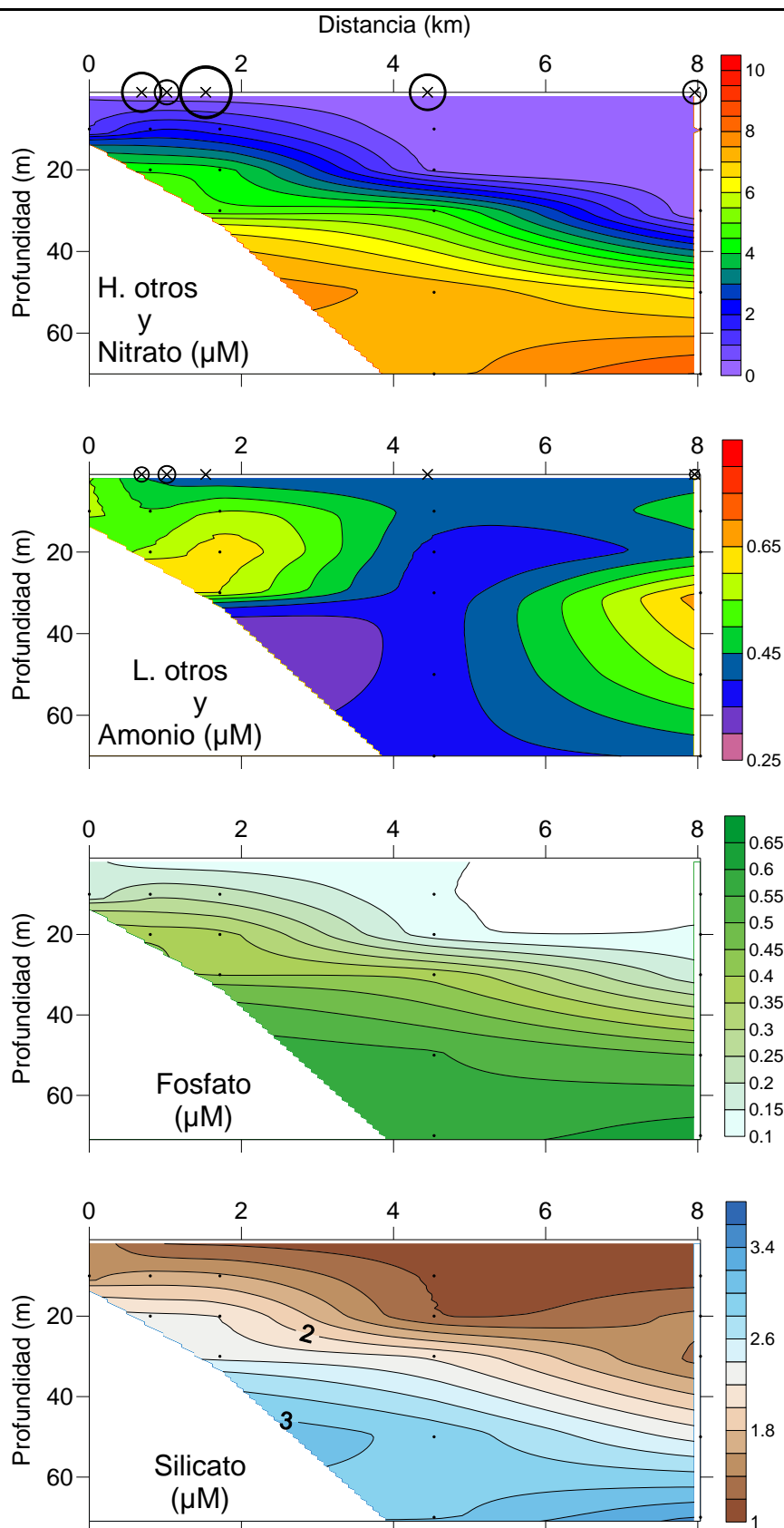


Figura 30b. Mismo transecto que en la figura 30a (Villaviciosa – bajamar – septiembre) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 1.5 huevos de otras especies por m^3 .

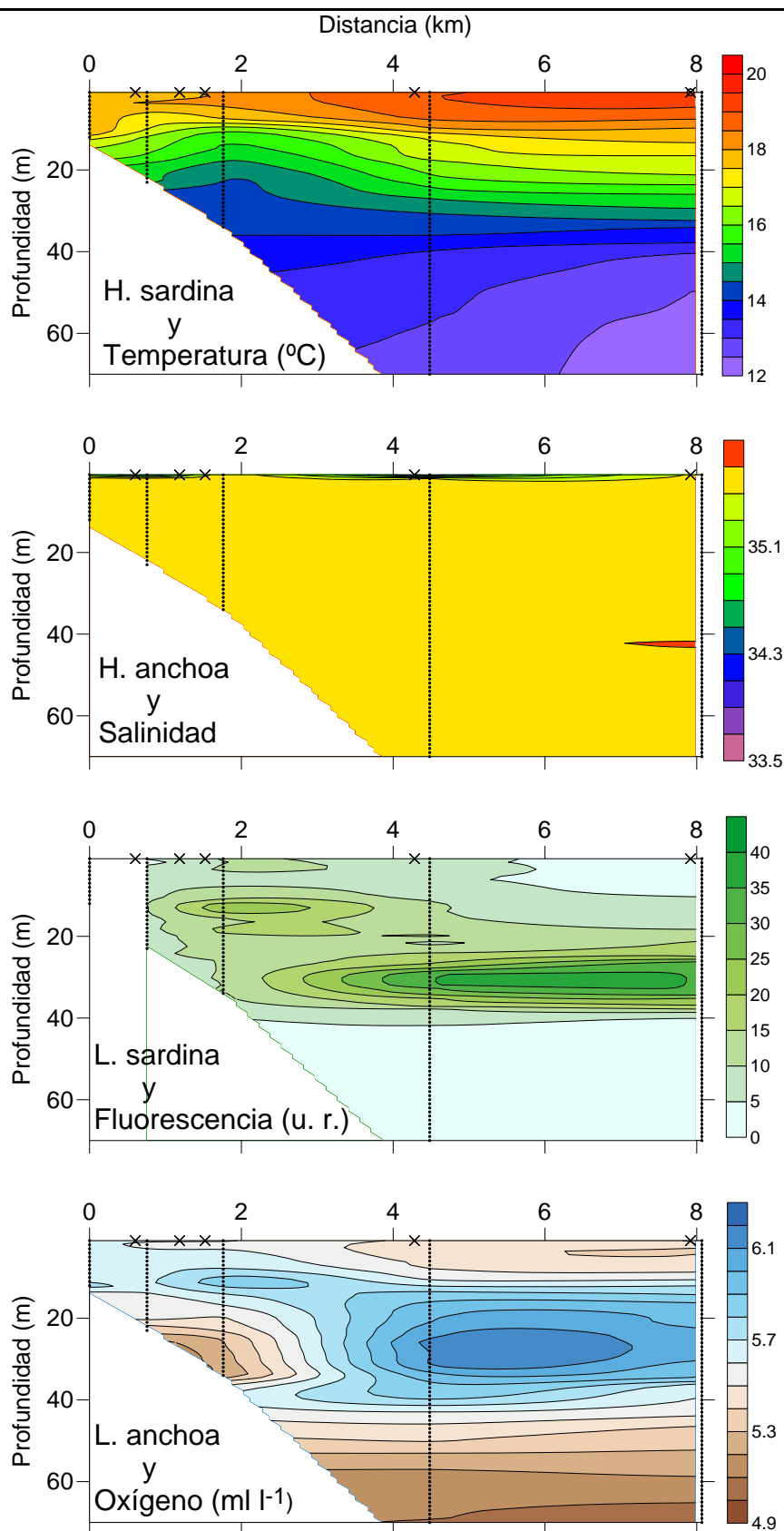


Figura 31a. Distribución vertical de temperatura, salinidad, fluorescencia y concentración de oxígeno, y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoa (círculos; individuos m⁻³) a lo largo de un transecto costa-océano frente a la desembocadura de la Ría de Villaviciosa durante la pleamar en el mes de septiembre. Sólo se observaron 0.03 huevos de sardina en la estación más alejada de costa.

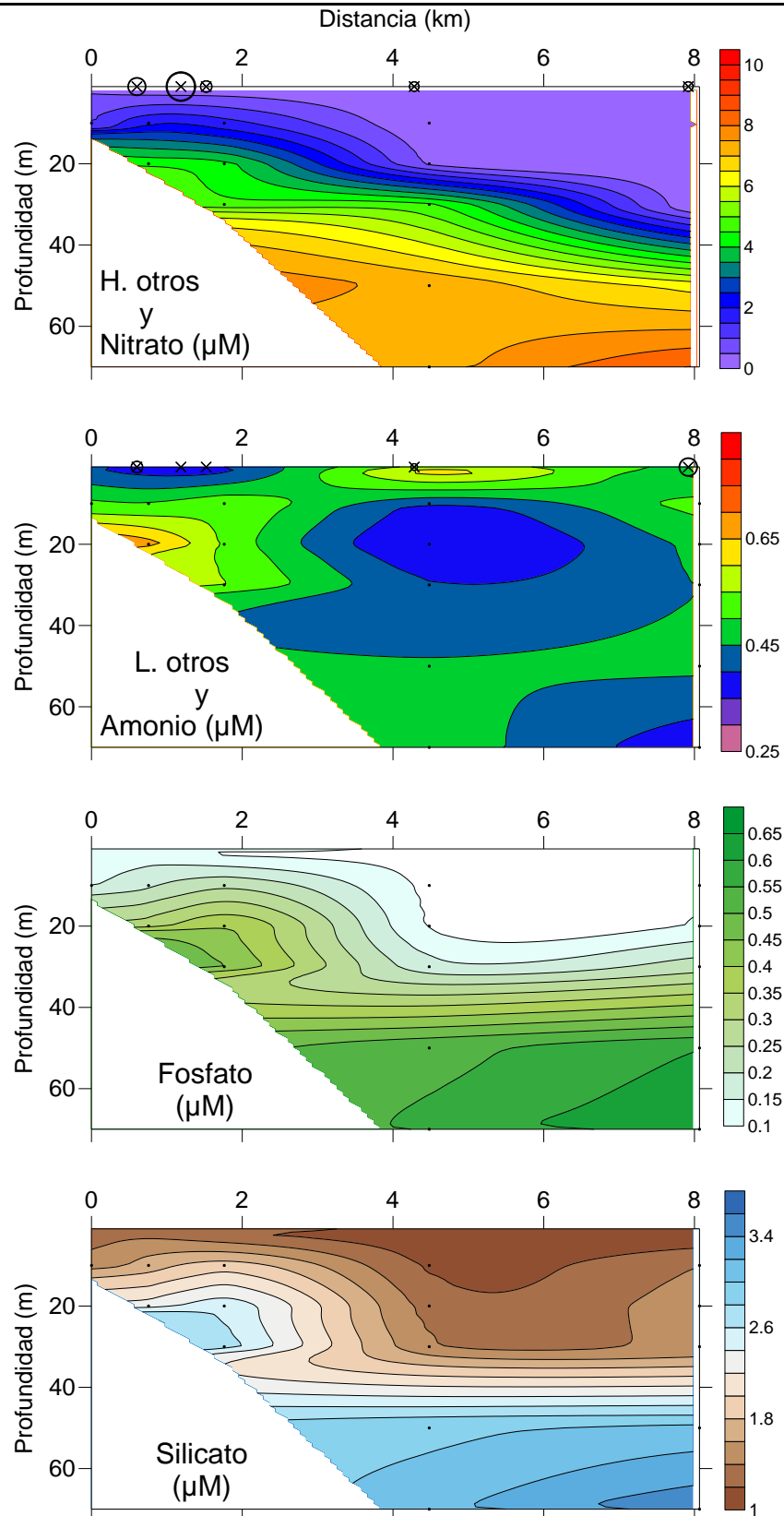


Figura 31b. Mismo transecto que en la figura 31a (Villaviciosa – pleamar – septiembre) pero en este caso se representan las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato y silicato) y las abundancias de huevos y larvas de otras especies. La abundancia máxima de ictioplancton observada corresponde a 0.2 larvas de otras especies por m^3 .

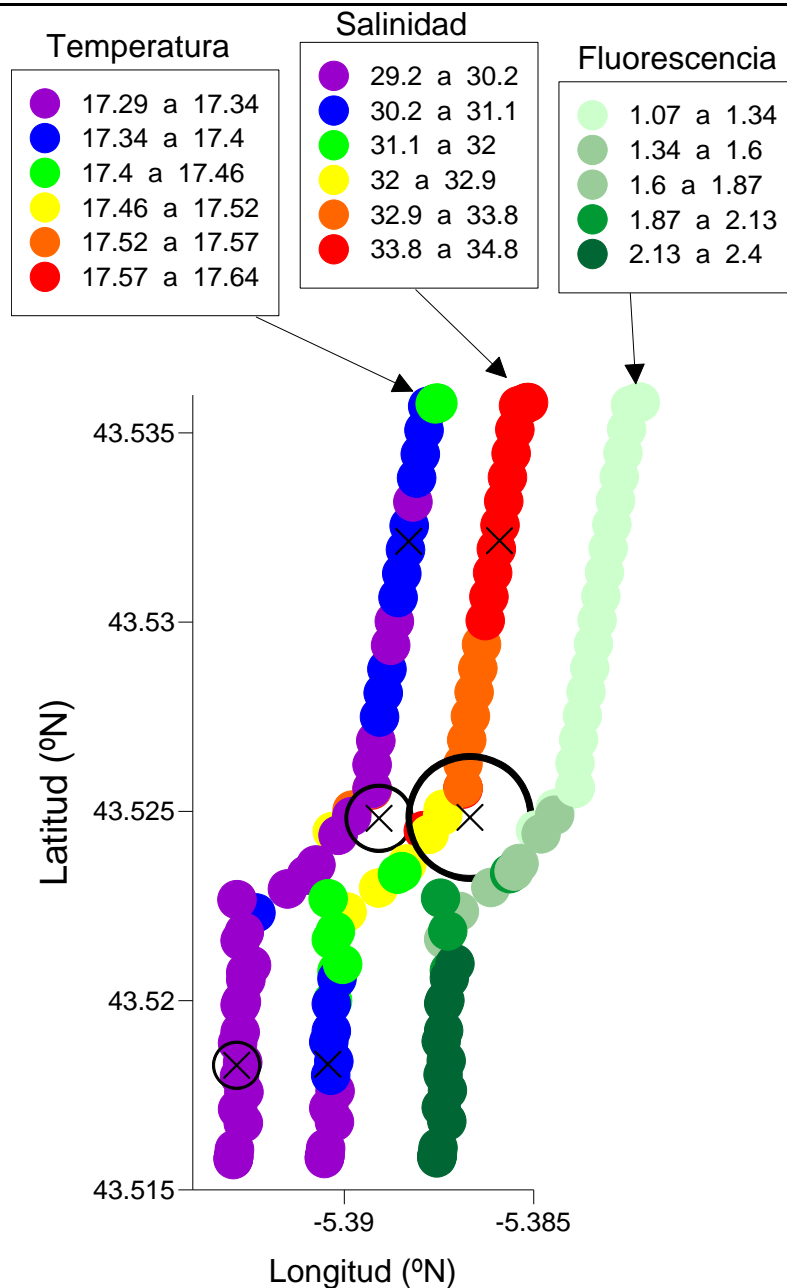


Figura 32. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura, salinidad y fluorescencia a lo largo de la Ría de Villaviciosa durante la bajamar en el mes de septiembre. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y el de salinidad está desplazado hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de anchoa en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. Las aspasp indican la posición de las pescas. La abundancia máxima corresponde a 7 larvas de anchoa por m^3 .

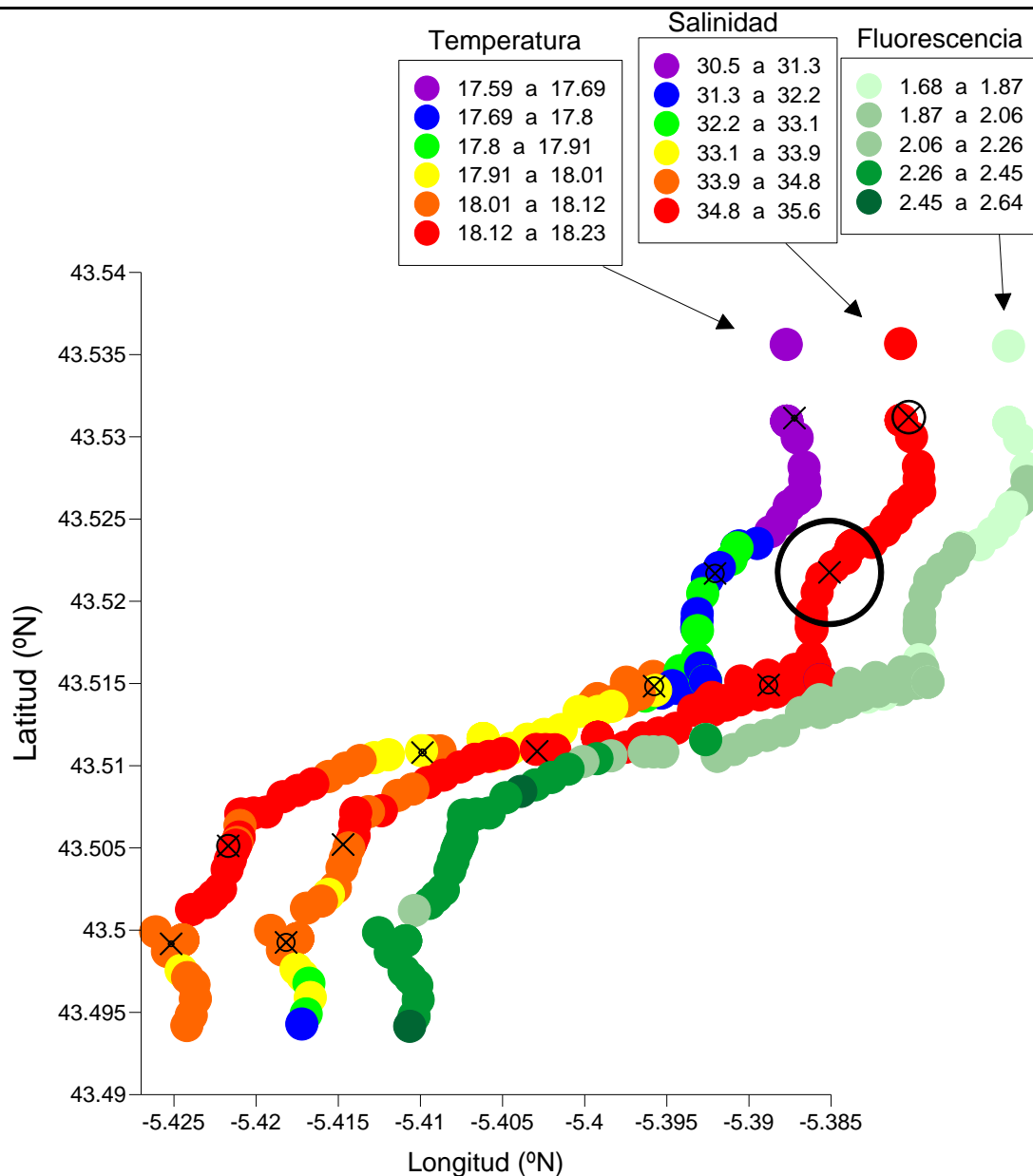


Figura 33. Distribución superficial (~1 m de profundidad) de temperatura, salinidad y fluorescencia a lo largo de la Ría de Villaviciosa durante la pleamar en el mes de septiembre. El perfil de temperatura es el que está georeferenciado respecto a los ejes de latitud y longitud de la gráfica, y el de salinidad está desplazado hacia la derecha para permitir su visualización. Además, el área de los círculos negros es proporcional a la abundancia (individuos m^{-3}) de huevos (sobre el perfil de temperatura) y larvas (sobre el perfil de salinidad) de otras especies en una serie de pescas realizadas con una red wp2 a 1 m de profundidad a lo largo del transecto. Las aspas indican la posición de las pescas. Se representa la abundancia de huevos y larvas de otras especies (círculos, individuos m^{-3}). La abundancia máxima corresponde a 2.5 larvas de otras especies.

Conclusiones

Se apreció un marcado contraste en la distribución de propiedades termohalinas, biogeoquímicas y distribuciones de ictioplancton en la zona de estudio (i.e. Cantábrico Central) entre los diferentes periodos del ciclo anual de estratificación-mezcla y producción biológica e intensidad de puesta de las especies objetivo.

Para un mismo periodo del ciclo anual, se apreciaron diferencias espaciales significativas en la distribución de propiedades termohalinas, biogeoquímicas y distribuciones de ictioplancton entre las zonas del Nalón y Villaviciosa. Se observaron en ambos casos, cambios significativos en la distribución de dichas propiedades entre la bajamar y la pleamar. La variabilidad espacial de las propiedades resultó en general más acusada en el estuario y zona costera del Nalón que en Villaviciosa. Estas diferencias se relacionan con el mayor caudal de agua dulce aportado por el estuario del Nalón. Además de la mayor incidencia de la pluma en la zona costera adyacente del Nalón, la intensificación de procesos costeros al oeste de Cabo Peñas, tales como el afloramiento, hacen que la variabilidad en la zona costera y de plataforma en esta zona sea superior a la observada en la zona de Villaviciosa. En ambos casos, el aporte de agua de menor salinidad procedente del estuario se aprecia fundamentalmente en una capa muy somera, por encima de los 3 m de profundidad. Su efecto, sin embargo, puede ser apreciable hasta las proximidades del Cabo Peñas en el caso de la pluma procedente del Nalón.

Tanto en los estuarios del Nalón como Villaviciosa, se apreció una importante variación de las propiedades entre la bocana y la zona media-interna del estuario. En general, la intensidad del gradiente salino es menor en pleamar que en bajamar. En algunas situaciones se aprecia la formación de una zona de máximo gradiente en la bocana, p. ej. en el Nalón en mayo.

La abundancia observada en las distintas épocas del año en las que se llevó a cabo el muestreo (mayo, julio y septiembre), coinciden con el patrón temporal de puesta de ambas especies en la zona. Las plumas asociadas a ambos estuarios durante la marea baja, cuando se observan los valores más bajos de salinidad, presentan en general valores bajos de huevos y larvas de ambas especies. Esto sugiere que tanto sardina como anchoa evitan realizar la puesta directamente sobre las plumas de los ríos. Sin embargo sí existe una mayor abundancia de huevos y larvas de estas especies en las zonas frontales asociadas a las plumas. La mayor abundancia de huevos de anchoa en los estuarios, sobre todo durante la pleamar, sugiere que la estrategia de puesta de esta especie tiende a favorecer su advección hacia el interior de los mismos.